はじめに

みなさん，こんにちは。

この講座では，化学の理論化学の分野を扱っています。
学校の化学の授業と併用して活用してみてください。

化学が得意な人は，学校の予習の段階で。
化学初心者は学校の授業の復習の段階で使用するといいでしょう。

最初は苦しいかもしれませんが，一つずつ，ゆっくり，確実にこなしていけば，
進むにつれ，理解するスピードもアップしていきます。
最終的に化学を好きになって，化学を得点源にしていきましょう。

応援しています。

坂田　薫

目次

第１章　　物質の構成

第1講　物質の分類 ―― p.4

第２章　　物質の構成粒子

第2講　原子の構造 ―― p.10

第3講　電子配置・イオン ―― p.14

第4講　イオン化エネルギー・電子親和力・電気陰性度・周期表 ―― p.18

第３章　　物質量と化学反応式・化学結合

第5講　結合と結晶 ―― p.22

第6講　物質量 ―― p.26

第7講　結晶格子（金属結晶の体心立方格子） ―― p.30

第8講　結晶格子（最密構造） ―― p.34

第9講　結晶格子（イオン結晶） ―― p.38

第10講　結晶格子（共有結合結晶・分子結晶） ―― p.42

第11講　分子（分子の電子式・分子の形） ―― p.48

第12講　分子（分子の極性・分子間結合・分子結晶） ―― p.52

第13講　溶液の濃度・化学反応式と量的関係 ―― p.58

第４章　　酸と塩基

第14講　酸と塩基（酸と塩基の基本事項）・水のイオン積とpH ―― p.62

第15講　中和反応と量的関係・塩（分類と液性） ―― p.68

第16講　塩（反応）・中和滴定 ―― p.72

第17講　滴定曲線・逆滴定 ―― p.78

第18講　二段滴定・中和の総合 ―― p.82

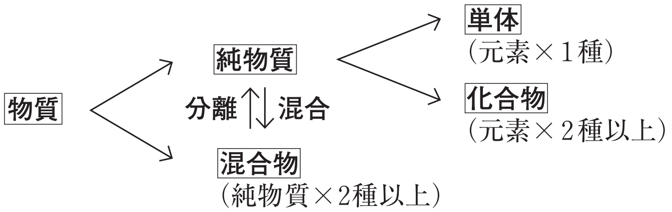
第５章　　酸化還元・電気化学

第19講　酸化還元(定義・酸化数・代表的な酸化剤還元剤・酸化還元反応) —— p.88
第20講　酸化還元(反応式・量的関係) —— p.94
第21講　ボルタ電池・ダニエル電池・電気量計算 —— p.98
第22講　鉛蓄電池・燃料電池 —— p.104
第23講　電気分解(各極の式・計算) —— p.108
第24講　電気分解(直列並列の計算・工業的製法) —— p.112
第25講　電気分解(工業的製法) —— p.118

第１章　　物質の構成

第１講　物質の分類

1　物質の分類



※　元素と単体

元素　➡　物質を構成している成分

単体　➡　実在する物質

※　**同素体**　S・C・O・P

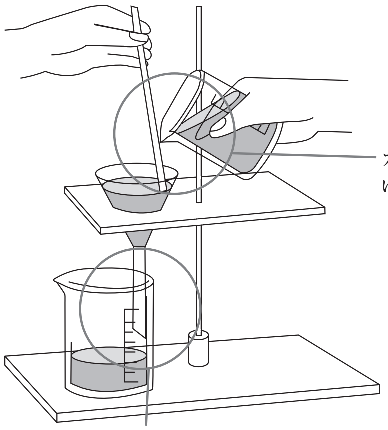
同じ元素からなる単体。同素体は性質が全く異なる。

2　分離精製法

混合している物質の性質の違いに注目して分離精製する。

ろ過　粒子の大きさの違いを利用する（図①）

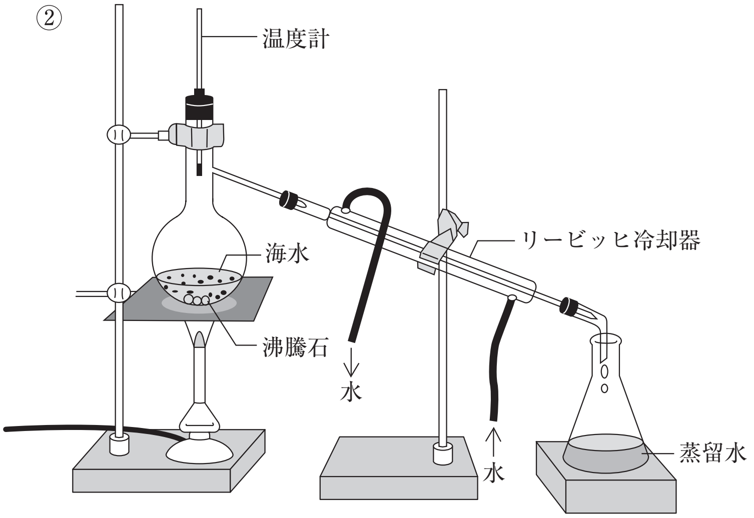
①



蒸留　沸点の違いを利用する（図②）

２種類以上の液体混合物を分離するときは分留（分別蒸留）という。

②



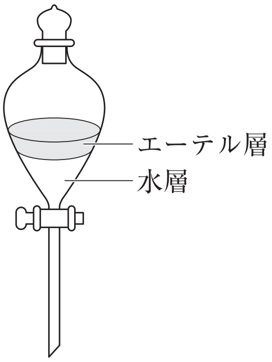
再結晶　温度による溶解度の差の違いを利用する

抽出　溶媒に対する溶解性の違いを利用する（図③）

昇華　昇華性の有無の違いを利用する（図④）

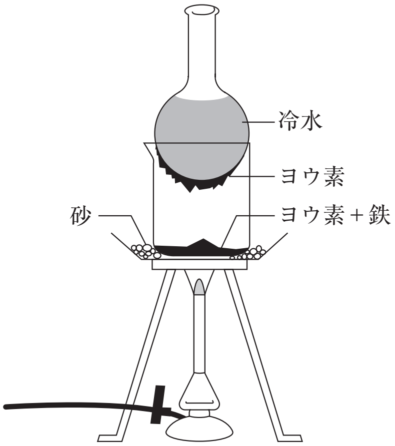
クロマトグラフィー　吸着力の違いを利用する（図⑤）

③

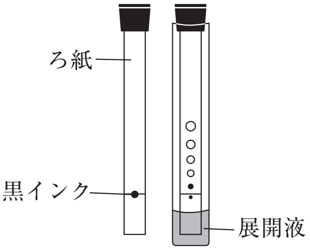


分液ろうと

④



⑤



第１講　演習問題

1　次の中から，混合物であるものを選べ。

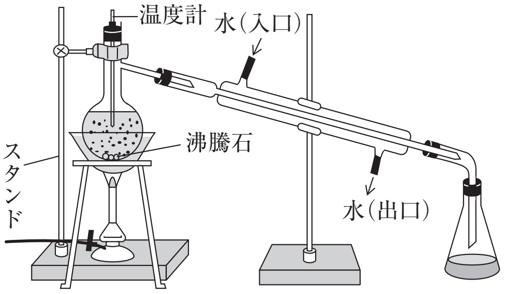
①　塩化ナトリウム　　②　塩酸　　③　アルゴン　　④　プロパン　　⑤　臭素

2　次の中から，互いに同素体でないものを選べ。

①　黒鉛(グラファイト)とダイヤモンド　　②　酸素とオゾン

③　鉛と亜鉛　　④　黄リンと赤リン　　⑤　斜方硫黄と単斜硫黄

3　右の図は蒸留の装置図である。図中，実験装置としては不適当な部分が4箇所ある。どこをどのように訂正すればよいか。



4　下線を付した語が，元素ではなく単体を指しているものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　^{1}Hと^{2}Hは，<u>水素</u>の同位体である。

②　水を電気分解すると，<u>水素</u>と<u>酸素</u>が物質量の比2：1で生じる。

③　<u>塩素</u>の原子量は35.5である。

④　<u>カルシウム</u>は，重要な栄養素である。

⑤　炭化水素は，<u>炭素</u>と<u>水素</u>だけを含む化合物である。

第１講　確認テスト

1　物質を分離する操作に関する記述として下線部が正しいものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　溶媒に対する溶けやすさの差を利用して，混合物から特定の物質を溶媒に溶かして分離する操作を<u>抽出</u>という。

②　沸点の差を利用して，液体の混合物から成分を分離する操作を<u>昇華法(昇華)</u>という。

③　固体と液体の混合物から，ろ紙などを用いて固体を分離する操作を<u>再結晶</u>という。

④　不純物を含む固体を溶媒に溶かし，温度によって溶解度が異なることを利用して，より純粋な物質を析出させ分離する操作を<u>ろ過</u>という。

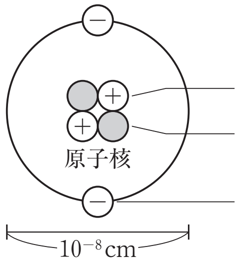
⑤　固体の混合物を加熱して，固体から直接気体になる成分を冷却して分離する操作を<u>蒸留</u>という。

＜Note＞

第2章　物質の構成粒子

第 2 講　原子の構造

1　原子の構造



	電荷	質量	質量比
陽子	＋1	1.673×10^{-24} g	1
中性子	±0	1.675×10^{-24} g	1
電子	−1	9.109×10^{-28} g	$\frac{1}{1840}$

原子番号　＝　陽子数　（＝電子数）
質量数　＝　陽子数＋中性子数

質量数　→　$^{4}_{2}$He
原子番号→
『ヘリウム4』

※　同位体

原子番号（陽子数）が同じで質量数（中性子数）が異なる原子。

同位体の関係にある原子をまとめたものが元素である。

第2講　演習問題

1　^{13}Cと^{14}Nの中性子数の和として適切なものを次の①～⑤のうちから選べ。

①　6　　②　13　　③　14　　④　20　　⑤　27

2　炭素の2種類の同位体^{12}C，^{13}Cと，酸素の3種類の同位体^{16}O，^{17}O，^{18}Oから生成する二酸化炭素分子（O＝C＝O）は何種類存在するか。次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　4　　②　6　　③　8　　④　10　　⑤　12

3　塩素は天然に^{35}Cl：^{37}Cl＝3：1の比で存在している。このとき，$^{35}Cl^{37}Cl$で組成する分子の存在率は何％か。最も近い数値を，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　6.25　　②　18.6　　③　37.5　　④　56.3　　⑤　62.5

4　ある木片に含まれる^{14}Cの割合は，木片が生育しているときの12.5％であった。^{14}Cの半減期を5730年として，木片が生育していたのが約何年前か答えよ。

第２講　確認テスト

1　次の文章(a)から(e)の中から，正しいものを全て選び，記号で答えよ。

(a)　原子の中心には，陽子を含む原子核があるので，原子は正に帯電している。

(b)　原子の大きさは，原子核の大きさにほぼ等しい。

(c)　原子の質量は，原子に含まれる陽子と電子の質量の和にほぼ等しい。

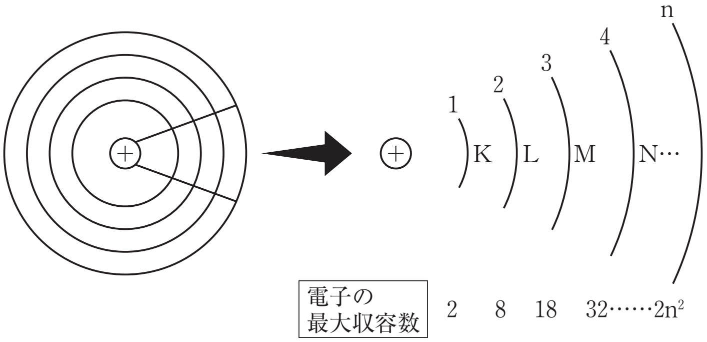
(d)　^{26}Mg原子に含まれる中性子の数は，14である。

(e)　原子番号が同じで，質量数が異なる原子同士を，互いに同位体と呼ぶ。

＜Note＞

第３講　電子配置・イオン

2　電子配置



原子番号1～36番の元素の電子配置							
周期	族	元素	電子配置	周期	族	元素	電子配置
1	1	$_{1}H$	K^1	4	1	$_{19}K$	$K^2L^8M^8N^1$
	18	$_{2}He$	K^2		2	$_{20}Ca$	$K^2L^8M^8N^2$
2	1	$_{3}Li$	K^2L^1		3	$_{21}Sc$	$K^2L^8M^9N^2$
	2	$_{4}Be$	K^2L^2		4	$_{22}Ti$	$K^2L^8M^{10}N^2$
	13	$_{5}B$	K^2L^3		5	$_{23}V$	$K^2L^8M^{11}N^2$
	14	$_{6}C$	K^2L^4		6	$_{24}Cr$	$K^2L^8M^{13}N^1$
	15	$_{7}N$	K^2L^5		7	$_{25}Mn$	$K^2L^8M^{13}N^2$
	16	$_{8}O$	K^2L^6		8	$_{26}Fe$	$K^2L^8M^{14}N^2$
	17	$_{9}F$	K^2L^7		9	$_{27}Co$	$K^2L^8M^{15}N^2$
	18	$_{10}Ne$	K^2L^8		10	$_{28}Ni$	$K^2L^8M^{16}N^2$
3	1	$_{11}Na$	$K^2L^8M^1$		11	$_{29}Cu$	$K^2L^8M^{18}N^1$
	2	$_{12}Mg$	$K^2L^8M^2$		12	$_{30}Zn$	$K^2L^8M^{18}N^2$
	13	$_{13}Al$	$K^2L^8M^3$		13	$_{31}Ga$	$K^2L^8M^{18}N^3$
	14	$_{14}Si$	$K^2L^8M^4$		14	$_{32}Ge$	$K^2L^8M^{18}N^4$
	15	$_{15}P$	$K^2L^8M^5$		15	$_{33}As$	$K^2L^8M^{18}N^5$
	16	$_{16}S$	$K^2L^8M^6$		16	$_{34}Se$	$K^2L^8M^{18}N^6$
	17	$_{17}Cl$	$K^2L^8M^7$		17	$_{35}Br$	$K^2L^8M^{18}N^7$
	18	$_{18}Ar$	$K^2L^8M^8$		18	$_{36}Kr$	$K^2L^8M^{18}N^8$

※　代表的な陽イオン　名称「～イオン」

イオン式	名称	イオン式	名称	イオン式	名称
H^{+}	水素イオン	Mg^{2+}	マグネシウムイオン	Mn^{2+}	マンガンイオン
Li^{+}	リチウムイオン	Ca^{2+}	カルシウムイオン	Fe^{2+}	鉄(Ⅱ)イオン
Na^{+}	ナトリウムイオン	Ba^{2+}	バリウムイオン	Cu^{2+}	銅(Ⅱ)イオン
K^{+}	カリウムイオン	Zn^{2+}	亜鉛イオン	Al^{3+}	アルミニウムイオン
Cu^{+}	銅(Ⅰ)イオン	Sn^{2+}	スズ(Ⅱ)イオン	Cr^{3+}	クロム(Ⅲ)イオン
Ag^{+}	銀イオン	Pb^{2+}	鉛(Ⅱ)イオン	Fe^{3+}	鉄(Ⅲ)イオン
NH_4^{+}	アンモニウムイオン	H_3O^{+}	オキソニウムイオン		

※　代表的な陰イオン　名称「～化物イオン」

イオン式	名称	イオン式	名称	イオン式	名称
F^{-}	フッ化物イオン	OH^{-}	水酸化物イオン	CO_3^{2-}	炭酸イオン
Cl^{-}	塩化物イオン	NO_3^{-}	硝酸イオン	SO_4^{2-}	硫酸イオン
Br^{-}	臭化物イオン	CN^{-}	シアン化物イオン	SO_3^{2-}	亜硫酸イオン
I^{-}	ヨウ化物イオン	CH_3COO^{-}	酢酸イオン	PO_4^{3-}	リン酸イオン
O^{2-}	酸化物イオン	HCO_3^{-}	炭酸水素イオン		
S^{2-}	硫化物イオン				

第３講　演習問題

1　次の元素の電子配置を例にならって記せ。　(例)Al：$K^2L^8M^3$

①　N　②　S　③　K　④　Fe　⑤　Cr　⑥　Br

2　次の元素の電子式を記し，原子価を答えよ。

①　N　②　C　③　Cl

3　次のイオンの電子配置を例にならって記せ。　(例)Al^{3+}：K^2L^8

①　S^{2-}　②　Ca^{2+}　③　Fe^{3+}

4　次の①～④に「大きい」か「小さい」のいずれかを入れよ。

Cl^-のイオン半径は，Clの原子半径より[①]。

Na^+のイオン半径は，Naの原子半径より[②]。

Clの原子半径は，Naの原子半径より[③]。

Clの原子半径は，Fの原子半径より[④]。

第３講　確認テスト

1　原子やイオンの電子配置に関連する記述として誤りを含むものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

①　ナトリウム原子のＫ殻には，２個の電子が入っている。

②　マグネシウム原子のＭ殻には，２個の電子が入っている。

③　リチウムイオン(Li^+)とヘリウム原子の電子配置は同じである。

④　カルシウムイオン(Ca^{2+})とアルゴン原子の電子配置は同じである。

⑤　フッ素原子は，６個の価電子をもつ。

⑥　ケイ素原子は，４個の価電子をもつ。

第４講　イオン化エネルギー・電子親和力・電気陰性度・周期表

3　イオンとエネルギー

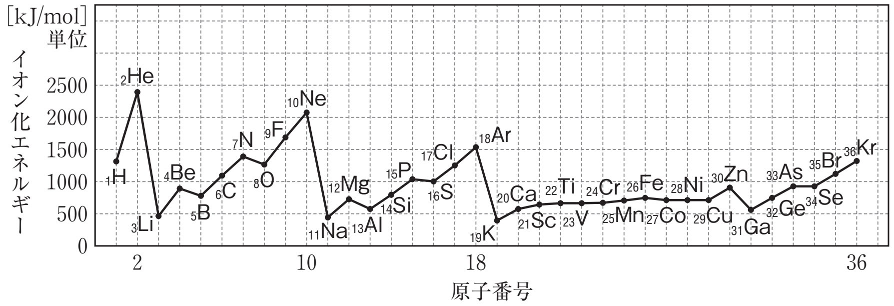
(1)　イオン化エネルギー　I_A

気体状の原子から電子を取り去って陽イオンにするために必要なエネルギー。

取り去る電子が１個のとき第1イオン化エネルギー，２個のとき第２イオン化エネルギーという。

何も表記がないときは第1イオン化エネルギーのことを指す。

イオン化エネルギー　大　➡　陽イオンになりにくい



(2)　電子親和力　E_A

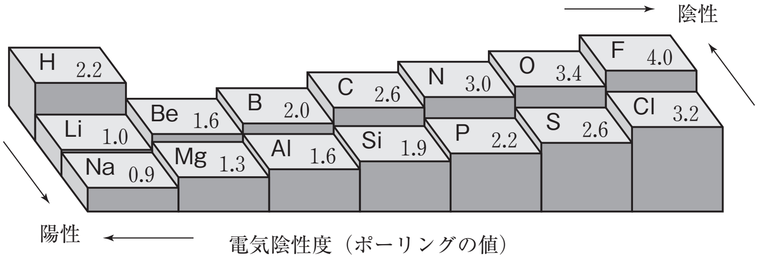
気体状の原子が電子を得て陰イオンになるときに放出されるエネルギー。

電子親和力　大　➡　陰イオンになりやすい

4　電気陰性度 χ

共有電子対を引きつける力。

電気陰性度　大　➡　イオン化エネルギー　大　&　電子親和力　大



第4講　演習問題

1　イオンに関する記述として誤りを含むものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

① 原子がイオンになるとき放出したり受け取ったりする電子の数を，イオンの価数という。

② 原子から電子を取り去って，1価の陽イオンにするのに必要なエネルギーを，イオン化エネルギー(第1イオン化エネルギー)という。

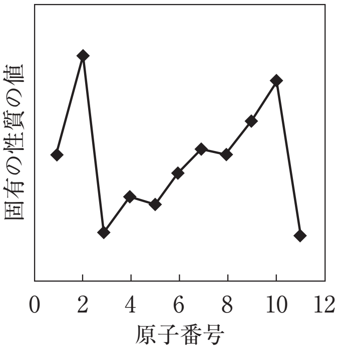
③ イオン化エネルギー(第1イオン化エネルギー)の小さい原子ほど陽イオンになりやすい。

④ 原子が電子を受け取って，1価の陰イオンになるときに放出するエネルギーを，電子親和力という。

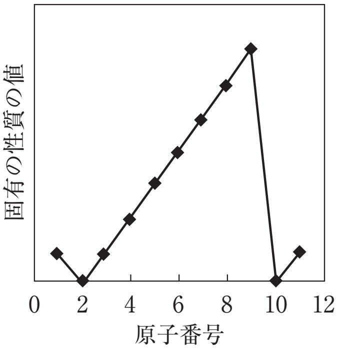
⑤ 電子親和力の小さい原子ほど陰イオンになりやすい。

2　次の図ア～オは，原子番号1から11までの元素について，原子番号と各原子の固有の性質の関係を示したものである。横軸を原子番号としたとき，縦軸にあてはまる適切な性質を，a～eの中から一つ選べ。

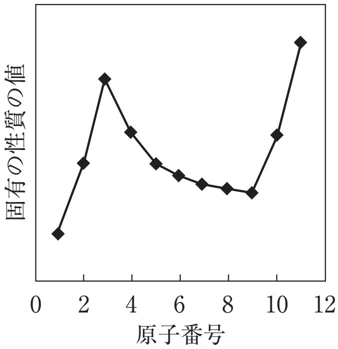
ア



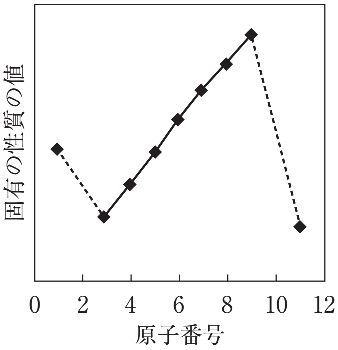
イ



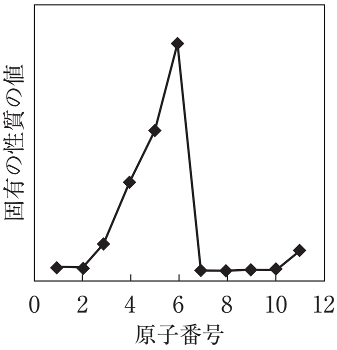
ウ



エ



オ

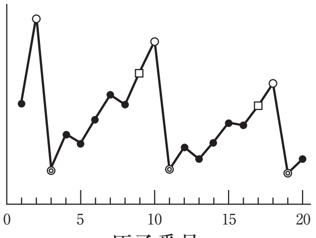


a：価電子の数　　b：イオン化エネルギー　　c：単体の融点

d：電気陰性度　　e：原子の大きさ(原子半径)

第４講　確認テスト

1　右の元素の周期律に関するグラフを見て，下の(1)～(3)に答えよ。



(1)　このグラフの縦軸は，何の値を示したものか。最も適切なものを，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。

(ア)　原子半径　(イ)　価電子数

(ウ)　第一イオン化エネルギー　(エ)　単体の融点

(オ)　電気陰性度　(カ)　陽子数

(2)　グラフ中の，○，◎，□で示された同族元素の名称は何か。正しい組み合わせを，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。

	○	◎	□
(ア)	ハロゲン	希ガス(貴ガス)	アルカリ金属
(イ)	ハロゲン	アルカリ金属	希ガス(貴ガス)
(ウ)	アルカリ金属	ハロゲン	希ガス(貴ガス)
(エ)	アルカリ金属	希ガス(貴ガス)	ハロゲン
(オ)	希ガス(貴ガス)	アルカリ金属	ハロゲン
(カ)	希ガス(貴ガス)	ハロゲン	アルカリ金属

(3)　原子番号１から20までの原子の中で，最も陽イオンになりにくい原子は何か。次の(ア)～(ク)の中から一つ選べ。

(ア)　水素　(イ)　塩素　(ウ)　カリウム　(エ)　ヘリウム

(オ)　炭素　(カ)　リチウム　(キ)　アルゴン　(ク)　リン

＜Note＞

第３章　物質量と化学反応式・化学結合

第５講　結合と結晶

5　電気陰性度χと化学結合・結晶

X　Y

金属　非金属　➡　電気陰性度の差　大　➡　イオン結合　➡　イオン結晶

金属　金属　➡　電気陰性度が小さい原子どうし　➡　金属結合　➡　金属結晶
（金属の単体）

非金属　非金属　➡　電気陰性度が大きい原子どうし
➡　共有結合　➡　共有結合の結晶
（ダイヤモンド・Si・SiO_2・SiC・黒鉛）
➡　分子結晶
上記以外の非金属化合物は分子をつくるため
分子間力で集まり，分子結晶となる
（→12講）

	イオン結晶	金属結晶	分子結晶	共有結合の結晶
構成元素	金属＋非金属	金属のみ	非金属のみ 共有結合の結晶以外	非金属のみ ダイヤモンド・ 黒鉛・ケイ素・ 二酸化ケイ素・ 炭化ケイ素
結合を作る粒子	陽イオン ＋陰イオン	金属陽イオン ＋自由電子	分子	原子
結合	イオン結合	金属結合	原子間：共有結合 分子間：分子間力	共有結合
化学式	組成式	組成式	分子式	組成式
融点	高い	低い～高い	低い	非常に高い
電気伝導性	固体：なし 融解液・水溶液： あり	あり	なし	なし 黒鉛のみあり
その他性質	硬いがもろい	延性・展性	昇華性多い	非常に硬い

第5講　演習問題

1　下の電気陰性度を利用して,
(1)　イオン結合性が最も強いもの
(2)　共有結合性が最も強いもの
を①～⑥の中から選べ。

	H	O	Na	Mg	Cl	Ca	Br	I
電気陰性度	2.2	3.4	0.9	1.3	3.2	1.0	2.8	2.5

①　塩化ナトリウム　　②　酸化マグネシウム　　③　酸化カルシウム
④　塩化水素　　⑤　臭化水素　　⑥　ヨウ化水素

2　表は，固体A，B，CおよびDの性質を表したものである。

	A	B	C	D
融点(昇華点)	低い	高い	極めて高い	高い
水への溶解性	溶けにくい	溶ける	溶けない	溶けない
電気の伝導性	通さない	通さない (融解すると通す)	通さない	通す
結晶の固さ，性質	軟らかい	硬い	極めて硬い	展性，延性

固体A，B，CおよびDにあてはまる物質を，次の(ア)～(オ)よりそれぞれ選び，記号で答えよ。
(ア)　銅　　(イ)　ダイヤモンド　　(ウ)　ドライアイス　　(エ)　黒鉛
(オ)　塩化ナトリウム

第５講　確認テスト

1　物質とそれを構成する化学結合との組合せとして適当でないものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

	物質	構成する化学結合
①	塩素 Cl_2	共有結合
②	アンモニア NH_3	配位結合
③	銅 Cu	金属結合
④	塩化ナトリウム NaCl	イオン結合
⑤	炭酸カルシウム $CaCO_3$	イオン結合と共有結合

＜Note＞

第６講　物質量

1　化学量

物質は原子の集合体であるため，化学計算のほとんどは，原子１個の量と個数を使っておこなう。しかし，原子１個の量を質量で表すと非常に小さく，また，物質を構成する個数は非常に多いため，ともに取り扱いが不便である。よって，原子１個の量，そして個数をどのように扱うかが化学計算では最も重要な基本事項である。

⑴　原子量

・原子量

質量数12の炭素原子（^{12}C）の質量を12としたときの，他の原子の相対的な質量。１molの質量（モル質量：g/mol）と一致する。

・元素の原子量

通常，陽子の数が同じ原子（同位体）は化学的性質がほぼ同じであるため，同じ元素として扱っている。よって元素の量を扱うときは同位体の相対質量の平均値を使用する。これが元素の原子量であり，周期表に掲載されている数値である。

元素の原子量＝（同位体の相対質量）の平均値

⑵　分子量・式量

・分子量

分子を構成している各原子の原子量の総和を分子量とよぶ。

例　CH_4の分子量

HとCの原子量をそれぞれ1，12とすると，

$12+1\times4=16$

・式量

金属の単体やイオンで構成される物質のように，分子を形成しない物質の場合には，結晶を構成する原子数を最も簡単な整数比で表し，組成式とよんでいる。この組成式を構成する各原子の原子量の総和を式量とよぶ。

例　NaClの式量

NaとClの原子量をそれぞれ23，35.5とすると，

$23+35.5=58.5$

⑶　物質量

物質を構成する粒子は非常に多く，個数単位では扱いにくいため，アボガドロ数N_A(6.02×10^{23}個)の集まりを1molとし，molという単位で表す物質の量を物質量とよぶ。

アボガドロ数N_Aとは$^{12}C=12$g中に含まれる炭素原子の数であり，6.02×10^{23}/molをアボガドロ定数とよぶ。

第６講　演習問題

1　原子番号37，原子量85.5のルビジウムRbは天然に^{85}Rbと^{87}Rbの2種類の同位体が存在する。^{85}Rbの存在比は何％か。最も近いものを，次の①～⑥の中から1つ選びなさい。各同位体の相対質量を^{85}Rb：84.9，^{87}Rb：86.9として計算しなさい。

①　50％　②　55％　③　60％　④　65％　⑤　70％　⑥　75％

2　次の問いに答えよ。原子量はH：1.0，C：12，Na：23，K：39，S：32，O：16，アボガドロ定数は6.0×10^{23}/molとする。

(1)　メタンCH_4 0.2molは何gか。

(2)　ナトリウムNa原子１個の質量は何gか。

(3)　0℃，1.013×10^5Paにおいて水素H_2 5.6Lは何molか。

(4)　水素H_2分子2.5×10^{23}個は何gか。

(5)　硫酸カリウムK_2SO_4 35g中にカリウムイオンK^+は何molあるか。

3　次の文の［　　］に当てはまる数値をアボガドロ数(Nとする)を用いて表せ。

(1)　水素H_2 1g中の水素分子の数は［　　］個である。

(2)　リチウムイオンLi^+ 1mol中の電子数は［　　］個である。

(3)　重水D_2O 1mol中の電子数は［　　］個である。

第６講　確認テスト

1　1.0カラットのダイヤモンドに含まれる炭素原子の物質量として最も適当な数値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，カラットは質量の単位で，1.0カラットは0.20gである。（原子量　C：12）

①　0.0017　②　0.0024　③　0.017　④　0.024　⑤　0.17　⑥　0.24

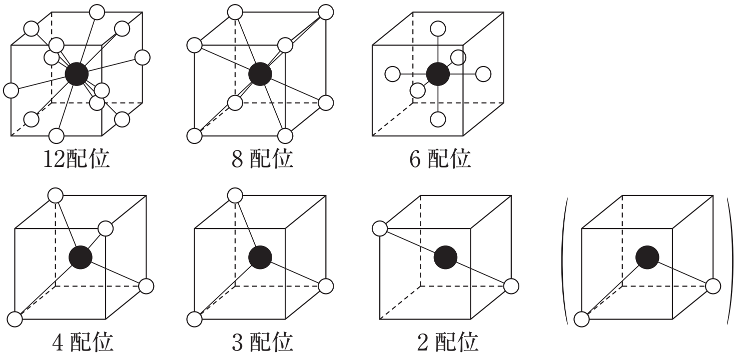
第７講　結晶格子（金属結晶の体心立方格子）

1　結晶と単位格子

多くの固体は結晶で存在している。結晶とは,粒子が規則正しく配列しているものである。よって，最小の繰り返し単位を取り出して考えるとわかりやすい。これが単位格子である。その結晶がどんな単位格子になるのか，それはどんな結合をしているかで決まる。

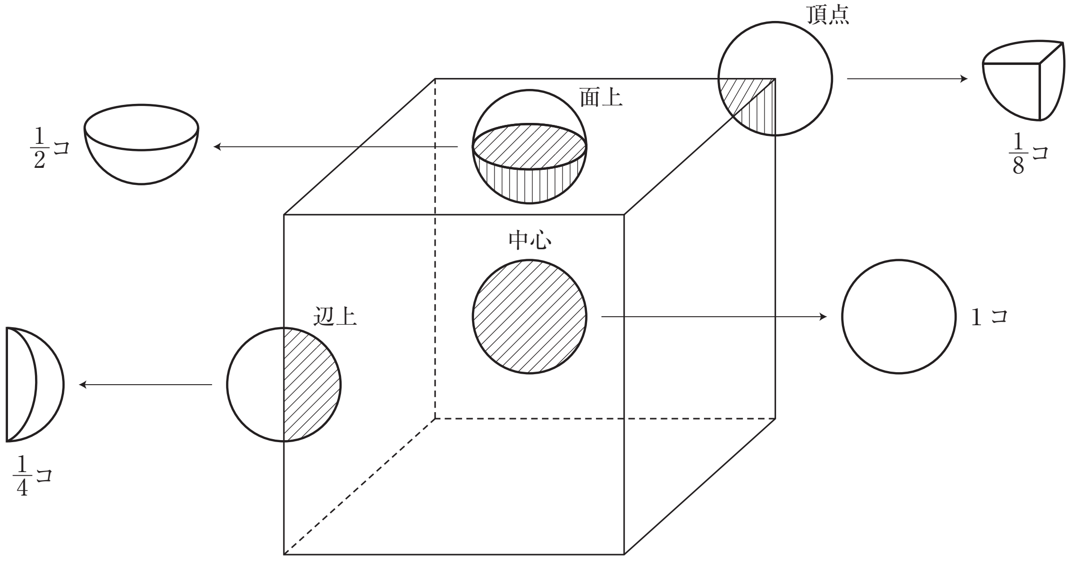
⑴　配位数

結晶構造をとらえるとき，1つの粒子が何個の粒子に囲まれているかに注目するとよい。それが配位数であり，最近接粒子数ともいう。配位数の最大値は12であるため，各結晶構造は，配位数が12以下でかつ対称性の高い構造のみとなる。



⑵　粒子数

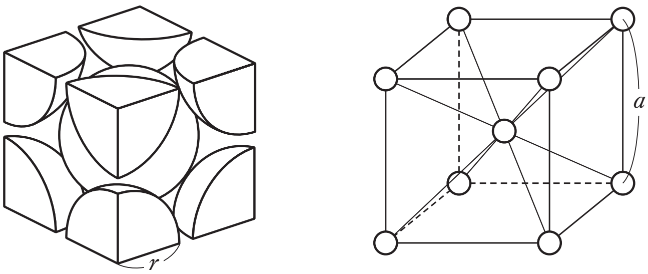
単位格子内に含まれる粒子は次のように考えていく。



2　金属結晶

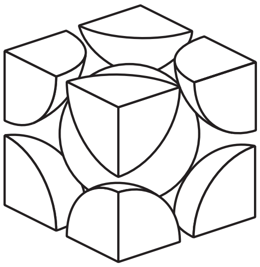
金属結合は金属の陽イオンと自由電子による結合である。よって，自由電子が金属イオンをつなぎとめやすいよう，金属イオンはできるだけ密になっていなくてはならない。よって配位数の大きな構造となる。

⑴　体心立方格子：配位数８



粒子数(n)	2
格子の一辺(a)と原子半径(r)の関係式	$r=\frac{\sqrt{3}}{4}a$
充填率	0.68(68％)

第７講　演習問題



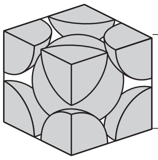
1　ある金属の結晶構造は，右図に示すような単位格子からなり，その一辺は3.0×10^{-8}cmである。金属の原子量は65，アボガドロ定数は6.0×10^{23}/molとして，次の問いに答えよ。

(1)　この結晶の密度〔g/cm^3〕を求めよ。

(2)　結晶内で金属原子が密着しているとして，原子の半径〔cm〕を求めよ。($\sqrt{2}=1.4$，$\sqrt{3}=1.7$)

第７講　確認テスト

1　ナトリウムの結晶は，右図のような［①］格子の結晶構造をとり，配位数は［②］である。その単位格子の一辺の長さは，4.29×10^{-8}cmである。



(1)　文章中の空欄①にあてはまる語句として最も適切なものを，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。

(ア)　正方形　(イ)　正四面体形　(ウ)　正八面体形
(エ)　体心立方　(オ)　面心立方　(カ)　六方最密

(2)　文章中の空欄②にあてはまる数値として最も適切なものを，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。

(ア)　2　(イ)　4　(ウ)　6　(エ)　8　(オ)　10　(カ)　12

(3)　ナトリウムの結晶の単位格子内に含まれる原子の数はいくらか。最も近い値を，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。

(ア)　1.5　(イ)　2　(ウ)　2.5　(エ)　3　(オ)　3.5　(カ)　4

(4)　ナトリウム原子の半径は何cmか。最も近い値を，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。
($\sqrt{3} = 1.73$)

(ア)　1.1×10^{-8}　(イ)　1.3×10^{-8}　(ウ)　1.5×10^{-8}
(エ)　1.7×10^{-8}　(オ)　1.9×10^{-8}　(カ)　2.1×10^{-8}

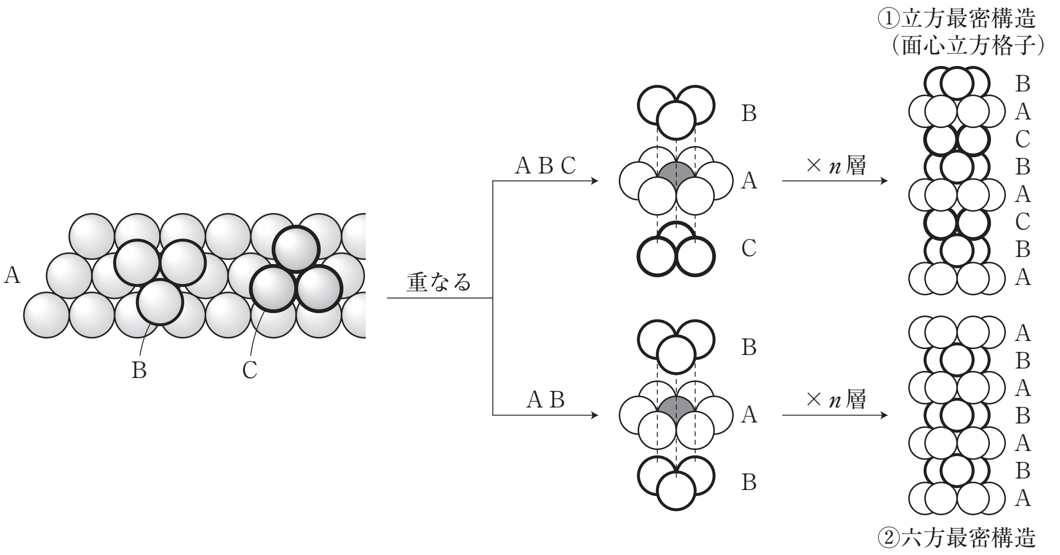
(5)　ナトリウムの原子量を23とすると，ナトリウムの結晶の密度は何g/cm^{3}か。最も近い値を，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。($(4.29)^3 = 79.0$，$N_A = 6.0 \times 10^{23}$)

(ア)　0.72　(イ)　0.97　(ウ)　1.2　(エ)　1.5　(オ)　1.7　(カ)　2.0

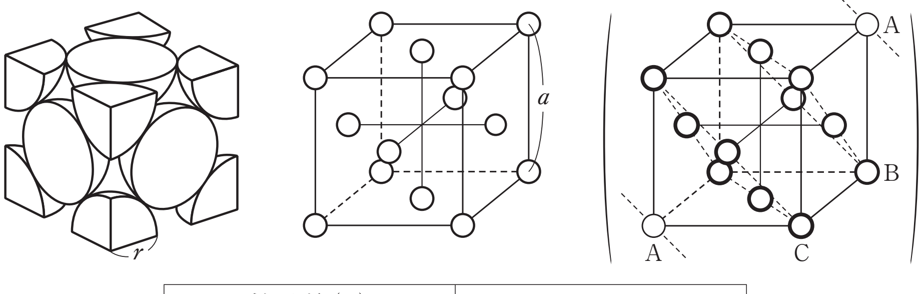
第８講　結晶格子（最密構造）

2　金属結晶（第７講からの続き）

(2)　最密構造：配位数１２

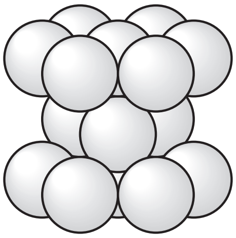


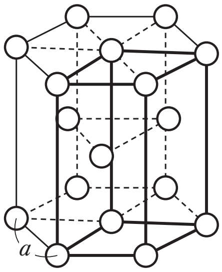
①面心立方格子



粒子数(n)	4
格子の一辺(a)と 原子半径(r)の関係式	$r=\frac{\sqrt{2}}{4}a$
充填率	0.74（74％）

②六方最密構造





粒子数(n)	6 (単位格子中；2)
格子底辺の一辺(a)と原子半径(r)の関係式	$r=\dfrac{a}{2}$
充填率	0.74(74％)

(3)　金属結晶の性質

・電気伝導性

・熱伝導性

・延性，展性

・金属光沢

第８講　演習問題

1　金Auの結晶は面心立方格子である。単位格子の一辺は4.1×10^{-8}cmである。Auの原子量は197，アボガドロ数は6.0×10^{23}/molとすると，Auの密度は何g/cm^{3}か。ただし，$(4.1)^3 = 68.9$とする。

第８講　確認テスト

1　図１と図２は銅の結晶の単位格子を表している。図１は，単位格子における銅原子の位置関係を表したものであり，一辺の長さがlの立方体の各面における中心位置，および各頂点の位置に原子が配列している。図２は，単位格子における銅原子の占める大きさと位置関係を表したモデル図である。問１～問３に答えなさい。ただし，原子量はCu＝63，アボガドロ定数は6.0×10^{23}/mol，$\sqrt{2}=1.4$とする。

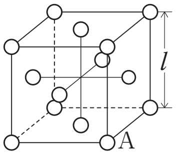


図１

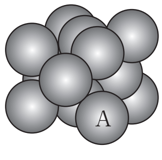


図２

問１　銅の結晶の単位格子の名称を書きなさい。

問２　単位格子中に含まれる銅原子の数は何個か。a～fから選びなさい。

a　1　　b　2　　c　3　　d　4　　e　8　　f　14

問３　単位格子の一辺の長さlは何mか。右の表を参考にして，最も近い値をa～fから選びなさい。ただし，銅の密度は9.0g/cm^{3}とする。また，右の表では$Y=X^3$が成り立っているものとする。

a　3.4×10^{-11}　　b　4.0×10^{-11}　　c　3.6×10^{-10}

d　4.2×10^{-10}　　e　3.8×10^{-9}　　f　4.7×10^{-9}

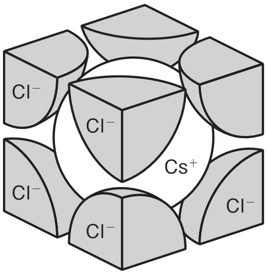
X	Y
3.4×10^{-11}	3.9×10^{-32}
4.0×10^{-11}	6.4×10^{-32}
3.6×10^{-10}	4.7×10^{-29}
4.2×10^{-10}	7.4×10^{-29}
3.8×10^{-9}	5.5×10^{-26}
4.7×10^{-9}	1.0×10^{-25}

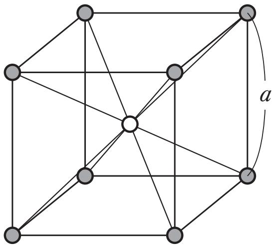
第９講　結晶格子（イオン結晶）

3　イオン結晶

イオン結合は陽イオンと陰イオンの間に働くクーロン力による結合である。よって，できるだけたくさんの反対符号のイオンに囲まれたほうがよいため，配位数の大きな構造になる。ただし，陽イオンと陰イオンは大きさが異なるため，最大配位数の12をとることはできない。

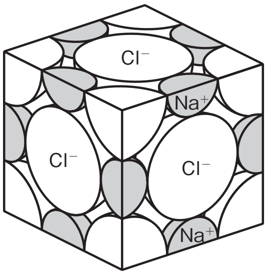
(1)　塩化セシウム型：配位数８

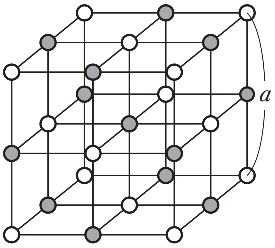




粒子数(n)	Cs^+：1　Cl^-：1　CsCl：1
格子の一辺の長さ(a)とイオン半径(r_+，r_-)の関係式	$\frac{\sqrt{3}}{2}a = (r_+ + r_-)$
限界半径比$\left(\frac{r_+}{r_-}\right)$	0.73

(2)　塩化ナトリウム型：配位数６





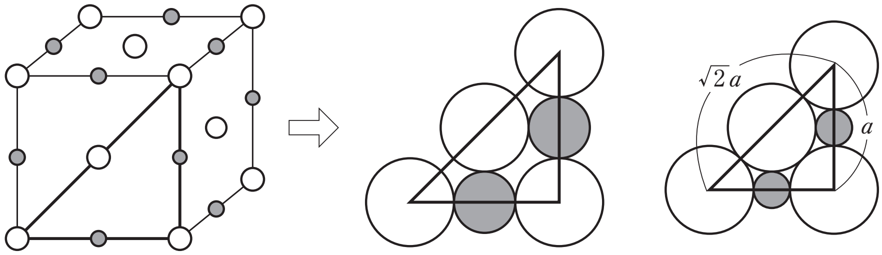
粒子数(n)	Na^+：4　Cl^-：4　NaCl：4
格子の一辺の長さ(a)とイオン半径(r_+，r_-)の関係式	$a = 2(r_+ + r_-)$
限界半径比$\left(\frac{r_+}{r_-}\right)$	0.41

⑶　限界半径比$\left(\frac{r_+}{r_-}\right)$

半径の小さい陽イオンのまわりにたくさんの陰イオンが集まると，陰イオン同士が接触してしまう。よって配位数が大きければよいというわけではない。

ある結晶構造をとるために必要な，陰イオンの半径 r_- に対する陽イオンの半径 r_+ の割合，すなわち $\frac{r_+}{r_-}$ が限界半径比である。

例　塩化ナトリウム型　　　　（安定）　　　（不安定）



このとき　$\frac{2(r_+ + r_-)}{4r_-} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1$$

（これより●は大きくなくてはならない。）

⑷　性質

・硬いがもろい

・結晶は電気を通さないが融解液や水溶液にすると電気を通す

・融点はイオン間距離とイオンの価数で決まる

　クーロン力

$$f = k \times \frac{Z_+ \cdot Z_-}{r^2}$$

（参考）

	$Z_+ \cdot Z_-$	r(nm)	融点(℃)		$Z_+ \cdot Z_-$	r(nm)	融点(℃)
NaF	1	0.231	993	CaF_2	2	0.236	1360
NaCl	1	0.282	800	BaF_2	2	0.268	1280
NaBr	1	0.298	755	CaO	4	0.240	2572
NaI	1	0.323	651	BaO	4	0.276	1923

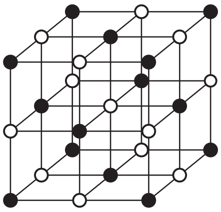
第9講　演習問題

1　塩化アンモニウムNH_4Clの結晶構造は体心立方格子に似ており，NH_4^+が立方体の中心，Cl^-が立方体の8つの頂点に位置している。単位格子の一辺の長さは3.9×10^{-8}cm，結晶の密度は1.5g/cm^3，Cl^-の半径を1.8×10^{-8}cm，アボガドロ数を6.0×10^{23}，$\sqrt{3}=1.7$，H＝1.0，N＝14として，次の問いに有効数字2桁で答えよ。

(1)　NH_4^+の半径は何cmか。

(2)　塩素の原子量はいくらか。($(3.9)^3=59$)

2　塩化カリウムは，右図のようにNaCl型の結晶構造をとる。格子定数を6.2×10^{-8}cm, KClの式量を74.5, アボガドロ定数を6.0×10^{23}/molとして，次の問いに答えよ。



(1)　単位格子中に含まれるKClの単位粒子の数は何個か。

(2)　KClの結晶の密度は，何g/cm^3か。($6.2^3=238$)

(3)　塩化物イオンCl^-とカリウムイオンK^+の間の距離は，

①最も近いもの

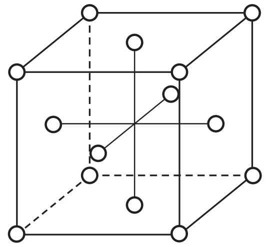
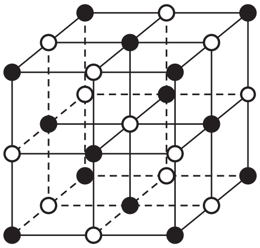
②2番目に近いもの

で何cmか。$\sqrt{3}=1.7$とする。

第９講　確認テスト

1　下図左はCuの単位格子, 下図右はNaClの単位格子を表している。Cuの単位格子中には, Cu原子が(　A　)個含まれている。一方, NaClの単位格子では, 下図左でCu原子が占めている位置にCl^-イオンが存在し, Na^+イオンは各辺の中央と立方体の中心に存在する。したがって, 単位格子中に存在するNa^+イオンの数は(　B　)個である。単位格子の角にあるCl^-イオンに着目すると, その最も近くにあるNa^+イオンの中で, 図中に表されていないNa^+イオンは(　C　)個である。

A：(イ)　2　　(ロ)　4　　(ハ)　7　　(ニ)　9　　(ホ)　14
B：(イ)　2　　(ロ)　4　　(ハ)　7　　(ニ)　9　　(ホ)　14
C：(イ)　0　　(ロ)　1　　(ハ)　3　　(ニ)　5　　(ホ)　9

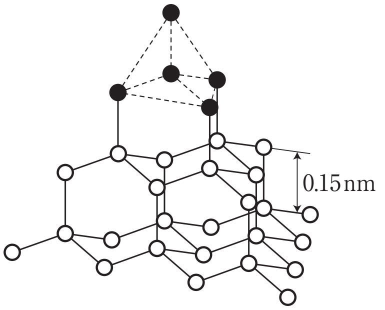



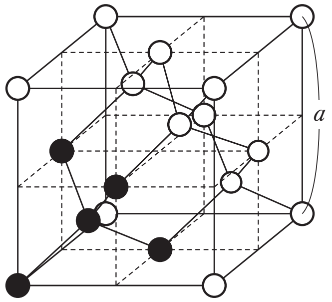
第10講　結晶格子（共有結合結晶・分子結晶）

4　共有結合結晶

共有結合は，非金属原子が不対電子を出し合って電子対をつくり，それを共有することによってできる結合である。共有できるのは最外殻の電子であるため，最大で8個すなわち4対である。この共有結合のみでできているのが共有結合結晶であり，4対全てを共有するため，配位数は4である（黒鉛は例外）。

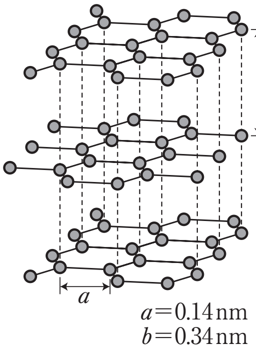
(1)　ダイヤモンド型

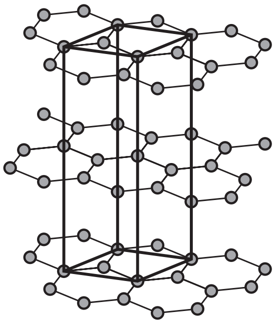


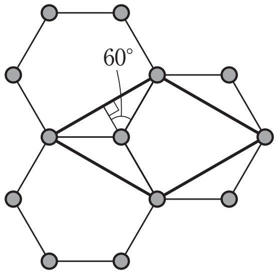


粒子数(n)	8
格子の一辺の長さ(a)と原子半径(r)の関係式	$r=\frac{\sqrt{3}}{8}a$
充填率	0.34(34%)

⑵ 黒鉛







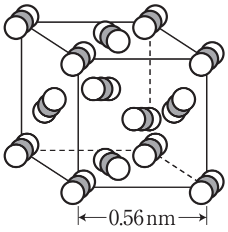
単位格子は左図の太線で囲んだ四角柱となる。
底面は下図の太線部分である。

⑶ 性質

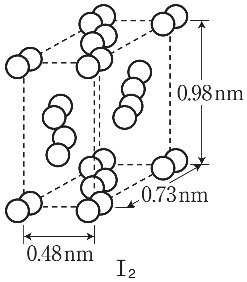
・非常に硬く融点も高い
・黒鉛は層状構造であり，層間ははがれやすく，電気伝導性がある

5　分子結晶

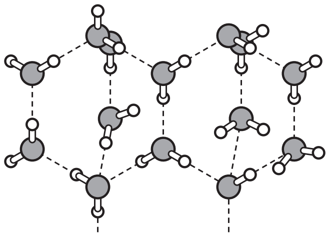
分子が分子間力により集まった結晶が分子結晶である。結晶構造は多様であるが，無極性分子の結晶は面心立方格子になることが多い。



CO_2



I_2



H_2O(氷)

水素結合により正四面体構造となり，すき間が多い。

(1)　**性質**

・融点が低く，昇華性を持つものも多い

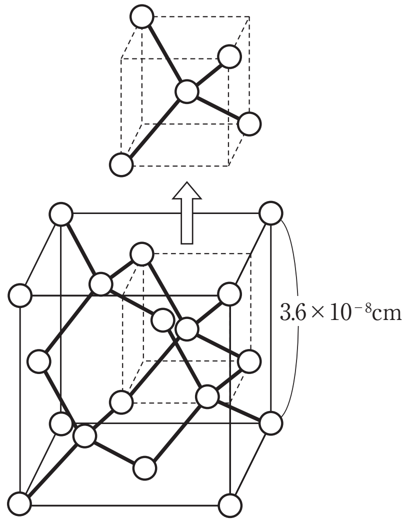
・やわらかい

第10講　演習問題

1　ダイヤモンドをX線で調べると，図のような一辺の長さが3.6×10^{-8}cmの立方体からなる単位格子をもつ結晶であることがわかった。このことについて，次の問いに答えよ。炭素の原子量を12，アボガドロ定数$=6.0\times10^{23}$/mol，$\sqrt{2}=1.4$，$\sqrt{3}=1.7$とする。

(1)　ダイヤモンドの結晶中の炭素の原子間距離は何cmか。

(2)　ダイヤモンドの密度は何g/cm^{3}か。($3.6^3=46$)



第10講　確認テスト

1　次の文章中の空欄(a)～(c)にあてはまる語句，および数値を書きなさい。また，(d)に入るものを選択肢(ア)～(エ)から選びなさい。

ケイ素の単体では，原子どうしが価電子を出し合ってつくられる［(a)］結合で，それぞれの原子が正四面体を形づくりながら結晶構造を作っている。炭素原子が同じ結晶構造を作っている物質の名称は［(b)］である。

ケイ素の単体の結晶は，図のような立方体の単位格子からなり立っている。単位格子には，頂点および正方形の面の中心に位置する原子と，単位格子の内部に位置する原子がある。単位格子1つの中に含まれるケイ素の原子数はあわせて［(c)］個である。この単位格子の一辺の長さをx〔cm〕，結晶の密度をy〔g/cm^3〕，アボガドロ定数をN_A〔/mol〕とし，ケイ素のモル質量M〔g/mol〕をx，yおよびN_Aを用いてあらわすと［(d)］となる。

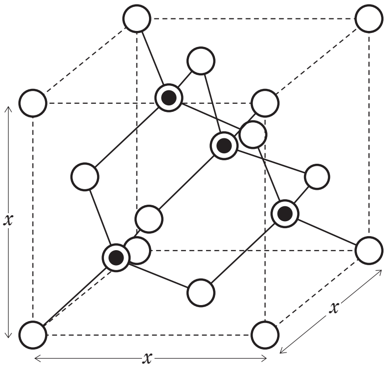


図　ケイ素単体の結晶の単位格子

(d)の選択肢

(ア) $\dfrac{x^3yN_A}{4}$　(イ) $\dfrac{x^3yN_A}{8}$　(ウ) $\dfrac{x^3y}{4N_A}$　(エ) $\dfrac{x^3y}{8N_A}$

＜Note＞

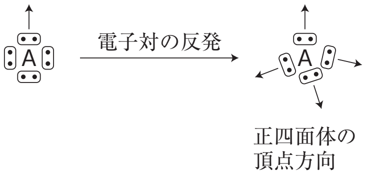
第11講　分子（分子の電子式・分子の形）

⑴ 分子の形

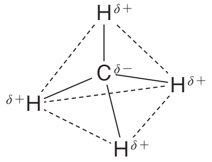
原子の周りに，何対の電子対があるかで決まる（このとき，二重結合や三重結合もそれぞれ一対と考える）。それぞれの電子対は反発が最小になるように配置される。

また，分子全体で電荷の偏りを生じるとき，その分子を極性分子といい，分子全体で電荷の偏りを持たないとき，その分子を無極性分子という。

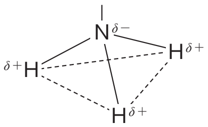
・4対のとき（単結合×4）→正四面体



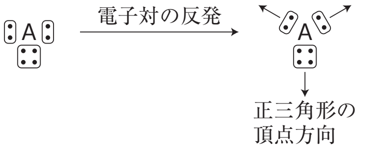
例　正四面体（無極性分子）



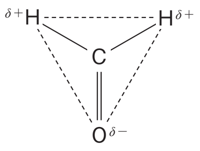
三角すい（極性分子）



・3対のとき（単結合×2＋二重結合×1）→正三角形



例　（極性分子）



・2対のとき（三重結合×1＋単結合×1，または二重結合×2）→直線

例　（無極性分子）

$\overset{\delta-}{O}=\overset{\delta+}{C}=\overset{\delta-}{O}$

（無極性分子）

$\overset{\delta+}{H}-\overset{\delta-}{C}\equiv\overset{\delta-}{C}-\overset{\delta+}{H}$

第11講　演習問題

1　次の分子の電子式を記し，形を答えよ。

(1)　CCl_4　(2)　O_3　(3)　H_2S　(4)　HCN

第11講　確認テスト

1　次の文章および表の空欄［1］～［17］にあてはまる最も適切なものを，それぞれの解答群から選び，記せ。ただし同じものを何度選んでもよい。

水素分子や塩素分子のような［1］二原子分子では共有電子対は原子間に同等に共有される。しかし，［2］二原子分子である塩化水素分子では共有電子対は［3］のほうに強く引きつけられる。このような共有電子対のかたよりは原子核の［4］や電子配置の違いから，それぞれの原子が結合に使われる電子を引きつける強さが異なるために起こる。この強さを相対的に示す尺度を電気陰性度という。カリウム，フッ素，リンを電気陰性度の大きい順に並べると，［5］になる。

分子	共有電子対の数	非共有電子対の数	分子の形
BCl_3	3	9	三角形
CCl_4	［6］	［10］	［14］
H_2S	［7］	［11］	［15］
CO_2	［8］	［12］	［16］
NH_3	［9］	［13］	［17］

［1］～［4］に対する解答群

①　異種　②　同種　③　イオン　④　塩素原子　⑤　塩素分子　⑥水素原子
⑦　水素分子　⑧　正電荷　⑨　負電荷

［5］に対する解答群

①　カリウム＞フッ素＞リン　②　カリウム＞リン＞フッ素
③　フッ素＞カリウム＞リン　④　フッ素＞リン＞カリウム
⑤　リン＞カリウム＞フッ素　⑥　リン＞フッ素＞カリウム

［6］～［13］に対する解答群

①　1　②　2　③　3　④　4　⑤　5　⑥　6　⑦　7　⑧　8
⑨　9　⓪　10　ⓐ　11　ⓑ　12　ⓒ　13　ⓓ　14　ⓔ　15　ⓕ　16
ⓖ　17　ⓗ　18　ⓘ　19　ⓙ　0

［14］～［17］に対する解答群

①　折れ線形　②　三角形　③　三角錐形　④　正四面体形　⑤　直線形

＜Note＞

第12講　分子（分子の極性・分子間結合・分子結晶）

⑵　分子間力

①ファンデルワールス力

分子を構成する原子は，原子核を中心に電子が運動している。それにより，各瞬間をとってみると部分的に極性を生じている。この瞬間的な極性によるごく弱い引力をファンデルワールス力という。

ファンデルワールス力は極性の原因である電子の数に比例する。電子の数と陽子の数は一致しており，陽子が増えると分子量も大きくなるため，ファンデルワールス力は分子量に比例する。

また，分子量がほぼ等しい分子では，表面積が大きいほどファンデルワールス力は強くなる。球体に近づくほど表面積は小さくなるため，球体に近い分子はファンデルワールス力が弱く，融点・沸点が低い。

②極性引力

分子全体で極性をもつ極性分子は，その極性により分子間に引力を生じている。これが極性引力である。

・水素結合

電気陰性度が大きく，非共有電子対をもつF，O，N原子がH原子を挟み込んだ形で結合したとき，水素結合とよぶ。一般にX-H…Yと表され，XとYは同じ原子でも異なる原子でもよい。

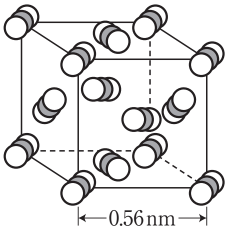
水素結合はファンデルワールス力の約10倍強いが，それでも共有結合の約10分の１の強さである。

＊全ての結合を比較すると

共有結合＞イオン結合＞金属結合≫水素結合＞ファンデルワールス力

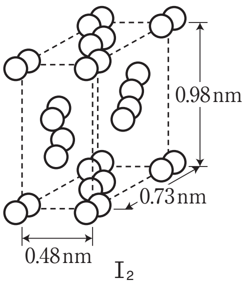
(3) 分子結晶

分子が分子間力により集まった結晶が分子結晶である。結晶構造は多様であるが，無極性分子の結晶は面心立方格子になることが多い。



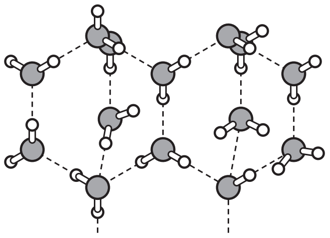
CO_2

( )



I_2

( )



H_2O（氷）

( )

水素結合により正四面体構造となり，すき間が多い。

(4) 性質

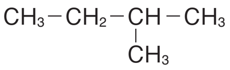
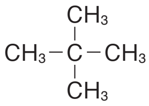
・融点が低く，昇華性を持つものも多い

・やわらかい

第12講　演習問題

1　次の分子を沸点の低い方から順番に並べよ。

(1)　F_2・Cl_2・Br_2・I_2

(2)　$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$　・　　・　

(3)　HF・HCl・HBr・HI

2　以下の文章を読み，次の設問１～５に答えよ。

２個の原子の間で，それぞれの原子がもっていた価電子を出しあって，共有してできる結合を共有結合という。水分子では，酸素原子の(　ア　)個の価電子のうち２個は，水素原子の価電子と共有電子対をつくる。一方，酸素原子の残りの価電子は酸素原子内で非共有電子対になる。この結果，酸素原子は希ガス(貴ガス)の(　イ　)原子と同じ安定な電子配置になる。(a)水分子のO－H結合では，酸素原子が共有電子対をいくらか引きつけるため，共有結合している原子間に電荷のかたよりがある。このことを，結合に極性があるという。水分子のように，分子全体に極性がある分子を極性分子という。一方，結合に極性がないか，あるいはあっても分子の形から結合の極性が打ち消された分子は(b)無極性分子という。

極性の有無にかかわらず，すべての分子間では，ファンデルワールス力と呼ばれる非常に弱い引力が働いている。一方，極性分子である水分子では，一つの水分子の水素原子が別の水分子の酸素原子と静電気的な力で引き合う(　ウ　)が形成されている。分子間に働く力として，(　ウ　)はファンデルワールス力よりかなり強い。このため水の沸点は，同族元素の水素化合物である硫化水素などと比べて，著しく高い。

問１　(　ア　)に当てはまる適切な数値を記せ。

問２　(　イ　)に当てはまる元素名を記せ。

問３　下線部(a)について，共有結合している原子間で，原子が共有電子対を引きつける強さの程度を表した値のことを何というか。

問４　次に示した分子のうち，下線部(b)に当てはまるものをすべて選んで，化学式で答えよ。

フッ化水素 HF　　二酸化炭素 CO_2　　メタン CH_4

アンモニア NH_3　　エタノール C_2H_5OH

問５　(　ウ　)に当てはまる適切な語を記せ。

第12講　確認テスト

1　次の文を読み，下記の設問１～３に答えよ。

常温常圧下で気体として存在している窒素，酸素，および二酸化炭素なども低温にすると，液体や固体となる。これは，すべての分子には分子と分子との間に引力が働くためである。一般に分子量が(　イ　)分子ほど，この分子間に働く引力が強くなるため，沸点が(　ロ　)なる傾向がある。しかしながら，ハロゲン化水素のうち，分子量がもっとも小さい〈　あ　〉は，電気陰性度の[　①　]原子と水素原子の間で〈　い　〉結合が分子間で形成されるため，沸点が[　②　]。これは，分子間に働く一般的な引力よりも〈　い　〉結合による引力が[　③　]ためである。

１．文中の空所(イ)，(ロ)それぞれにあてはまる語句の組み合わせとしてもっとも適当なものを，右のａ～ｄから１つ選べ。

	(イ)	(ロ)
a	大きい	高く
b	小さい	高く
c	大きい	低く
d	小さい	低く

２．次の問ⅰ，ⅱに答えよ。

ⅰ．文中の空所〈あ〉にあてはまるもっとも適当な化合物名をしるせ。

ⅱ．文中の空所〈い〉にあてはまるもっとも適当な語句をしるせ。

３．文中の空所①～③にあてはまるもっとも適当な語句を，それぞれ対応する次のａ・ｂから１つずつ選べ。

①　ａ．大きい　　ｂ．小さい

②　ａ．高くなる　　ｂ．低くなる

③　ａ．強い　　ｂ．弱い

<Note>

第13講　溶液の濃度・化学反応式と量的関係

1　濃度

反応は，粒子が衝突することで起こる。しかし，多くの物質は固体で存在しているため，動き回って衝突することができない。そこで，何かの液体(溶媒)に溶かし，溶液にすることで反応させていくのである。よって，反応していくのは溶けている物質(溶質)であり，溶媒は反応には関与しない。そこで化学計算では，反応していく物質，すなわち溶質がどのぐらいの濃さで存在しているのかに注目していく。それが濃度である。

(1)　濃度の定義

溶液に対する溶質の割合，または溶媒に対する溶質の割合で表す。

$$\text{濃度} = \frac{\text{溶質の量}}{\text{溶液または溶媒の量}}$$

(2)　濃度の表し方

・質量パーセント濃度

$$\text{質量パーセント濃度}(\%) = \frac{\text{溶質の質量}(\mathrm{g})}{\text{溶液の質量}(\mathrm{g})} \times 100$$

・モル濃度

$$\text{モル濃度}(\mathrm{mol/L}) = \frac{\text{溶質の物質量}(\mathrm{mol})}{\text{溶液の体積}(\mathrm{L})}$$

・質量モル濃度

$$\text{質量モル濃度}(\mathrm{mol/kg}) = \frac{\text{溶質の物質量}(\mathrm{mol})}{\text{溶媒の質量}(\mathrm{kg})}$$

☆濃度が絡む複雑な計算は，単位を明記して扱っていくと間違いにくい。戸惑ったら単位を書こう。

2　化学変化と量的関係

化学の計算のほとんどは化学変化が起こるときのものである。よって，反応に関わる物質の量的関係を計算式にしていくことになる。様々な公式もここから生まれてきたものであり，化学の計算の根本である。

化学変化が起こると，粒子数すなわち物質量(mol)が変化する。これが，化学反応式の係数である。
よって化学反応の変化量計算は
① 化学反応式を書く。
② 与えられた情報を物質量(mol)に変える。
③ ①の係数を②で求めた物質量(mol)の比として関係式をつくる。
という手順で必ず解を得ることができる。

例題 0.25 mol/L の硫酸 20 mL を中和するために，2.0 %，0.99 g/mL のアンモニア水が何 mL 必要か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし，原子量は H：1.0，N：14 とする。

解：この化学反応式は次のように書ける。

$$H_2SO_4 + 2NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

これより硫酸とアンモニアの mol 比は 1 ： 2 である。
よってアンモニア水の体積を V mL とすると，

$$0.25 \times \frac{20}{1000} \times 2 = 0.99 \times V \times \frac{2.0}{100} \times \frac{1}{17}$$

$$V = 8.58\cdots \quad 答 \boxed{8.6\,\text{mL}}$$

☆上記の計算を行うためには，化学反応式が書けなくてはならない。これから各単元で反応について学び，反応式を作れるようになろう。

第13講　演習問題

1　(1)　水100 gにショ糖25 gを溶かしたショ糖水溶液の質量パーセント濃度はいくらか。

(2)　ブドウ糖(分子量180)18 gを水に溶かし250 mLにしたブドウ糖溶液のモル濃度はいくらか。

(3)　水200 gに尿素0.10 molを溶かした尿素水溶液の質量モル濃度はいくらか。

(4)　0.15 mol/Lの塩酸20 mL中のHClは何molか。

(5)　20％塩酸100 mL(密度1.1 g/cm^3)中のHCl(分子量36.5)は何molか。

(6)　28％硫酸50 mL(密度1.2 g/cm^3)中のH_2SO_4(分子量98)は何molか。

2　(1)　比重1.84の96％濃硫酸のモル濃度はいくらか。(H_2SO_4　分子量98)

(2)　3％過酸化水素水の質量モル濃度はいくらか。(H_2O_2　分子量34)

3　濃硫酸(質量パーセント濃度98％，密度1.84 g/cm^3)25 mLに水を加えて希硫酸を800 mL調製した。希硫酸のモル濃度として最も適当なものを次の①～⑤のうちから一つ選べ。(H_2SO_4　分子量98)

①　0.37　　②　0.58　　③　0.83　　④　1.28　　⑤　1.47

4　(1)　0 ℃，1.013×10^5 Paで1.12 Lの二酸化硫黄SO_2と等量の硫化水素H_2Sを反応させた。反応が完全に終了した時，何gの硫黄Sが回収されるか。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，硫黄の原子量は32とする。

①　1.6　　②　2.4　　③　3.2　　④　4.8　　⑤　6.4

(2)　50 mLの酸素O_2をある方法で一部オゾンO_3に変える実験を行った。反応後の体積を実験前と同じ温度・圧力で測定したところ，42mLになっていた。反応後，生成したオゾンの体積として最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　4.0　　②　8.0　　③　12　　④　16　　⑤　20

(3)　メタンCH_4とプロパンC_3H_8の混合気体100 mLを空気中で完全燃焼させたところ，二酸化炭素が230 mL生じた。混合気体中にプロパンは何mL入っていたか。最も適当な数値を，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，気体の体積は全て0 ℃，1.013×10^5 Paでのものとする。

①　17　　②　35　　③　65　　④　70　　⑤　85

第13講　確認テスト

1　濃塩酸(密度1.18 g/cm^3，質量パーセント濃度36%)をもちいて0.5 mol/Lの塩酸250 mLをつくった。このとき必要とした濃塩酸の体積〔mL〕はいくらか。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただしHClの分子量を36.5とする。

①　5.4　　②　7.4　　③　10.7　　④　16.1　　⑤　21.4

2　0℃，1.013×10^5 Paで200 mLの酸素をオゾン発生器に通したところ，9%の酸素がオゾンに変化した。得られた混合気体の体積は何mLか。最も適当な数値を，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　190　　②　192　　③　194　　④　196　　⑤　198

第４章　酸と塩基

第14講　酸と塩基(酸と塩基の基本事項)・水のイオン積とpH

1　酸と塩基

固体を反応させやすくするために，水溶液にすることが多いが，水の中では水のイオン積の束縛を受ける。水素イオンと水酸化物イオンは水のイオン積を超えて共存することはできないのである。よって，まずは水素イオンを生成するもの，水酸化物イオンを生成するもの，すなわち酸と塩基をきちんと判断しなくてはならない。

(1)　定義

(i)　**アレニウスの定義**

- **酸**　：水中で水素イオン(H^+)を生じるもの
- **塩基**：水中で水酸化物イオン(OH^-)を生じるもの

(ii)　**ブレンステッド・ローリーの定義**

- **酸**　：水素イオン(H^+)を与えるもの
- **塩基**：水素イオン(H^+)を受け取るもの

注：水中で水素イオン(H^+)はオキソニウムイオン(H_3O^+)として存在している。

(2)　強弱

電離度α

$$\alpha = \frac{\text{電離した酸(塩基)}}{\text{溶解した酸(塩基)}}$$

強酸　$\alpha = 1$

H_2SO_4，HNO_3，HCl，HBr，HI

強塩基　$\alpha = 1$

KOH，NaOH，$Ba(OH)_2$，$Ca(OH)_2$

上記以外が弱酸弱塩基($\alpha < 1$)であり，αは濃度によって変化する。

(3)　価数

１分子の酸(塩基)が出しうる水素イオンH^+(水酸化物イオンOH^-)の数を価数とよぶ。通常化学式を見れば判断できる。二酸化炭素CO_2(２価)とアンモニアNH_3(１価)のみ化学式からは判断できないため，注意が必要である。

⑷　水のイオン積とpH

(i)　水のイオン積

水は次のように電離している。

$$H_2O \quad = \quad H^+ \quad + \quad OH^- \quad - \quad 56\,kJ$$

平衡定数Kは

$$K=\frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

となるが，水の濃度は一定と考えることができるため，

$$K[H_2O]=K_w=[H^+][OH^+]$$

と表すことができる。これを水のイオン積K_wという。

平衡定数は温度で変化するため，水のイオン積も温度で変化する。25℃のとき水のイオン積は$1.0\times10^{-14}(mol/L)^2$である。

(ii)　水素イオン濃度と液性

(i)で述べたように，温度が一定であるかぎり，水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度の積は水のイオン積で一定となる。これを利用し，水素イオン濃度の割合で溶液の液性を定める。25℃で考えると

$[H^+] > [OH^-]$すなわち$[H^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ mol/L**のとき酸性**

$[H^+] = [OH^-]$すなわち$[H^+] = 1.0 \times 10^{-7}$ mol/L**のとき中性**

$[H^+] < [OH^-]$すなわち$[H^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ mol/L**のとき塩基性**

(iii)　pH

(ii)のように，水素イオン濃度の割合で溶液の液性を表す。しかし水素イオン濃度の変化は極めて大きいため，対数をとったpHという指数を用いて表していく。

$$pH = -\log[H^+]$$

また，水酸化物イオン濃度の対数はpOHである。

$$pOH = -\log[OH^-]$$

25℃のとき

$$pH + pOH = 14$$

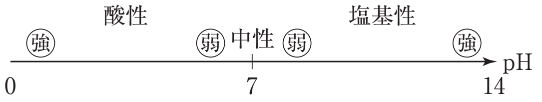
以上より，

pH＜7のとき酸性

pH＝7のとき中性

pH＞7のとき塩基性

となる。



第14講　演習問題

1　次の反応Ⅰおよび反応Ⅱ，下線を付した分子およびイオン（ａ～ｄ）のうち，酸としてはたらくものの組合せとして最も適当なものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。

反応Ⅰ　$CH_3COOH + {}_a\underline{H_2O} \rightleftarrows CH_3COO^- + {}_b\underline{H_3O^+}$

反応Ⅱ　$NH_3 + {}_c\underline{H_2O} \rightleftarrows NH_4^+ + {}_d\underline{OH^-}$

①　ａとｂ　②　ａとｃ　③　ａとｄ　④　ｂとｃ　⑤　ｂとｄ　⑥　ｃとｄ

2　次の(A)から(C)の水溶液をpHの小さいものから順に左から並べ，記号で答えよ。

(A)　1.0 mol/L の酢酸水溶液（電離度は0.0050）

(B)　0.010 mol/L の硫酸（電離度は1.0）

(C)　1.0 mol/L の塩酸10 mL を容器に入れ，全体を純水で1.0 L に希釈した水溶液（電離度は1.0）

3　(1)　0.10 mol/L，pH3.0の酢酸水溶液の電離度はいくらか。

(2)　水酸化ナトリウム（式量40）40 mg に水を加えて100 mL の水酸化ナトリウム水溶液とした。この水溶液のpHはいくらか。

第14講　確認テスト

1　pH1.0の塩酸10mLに水を加えてpH3.0にした。このpH3.0の水溶液の体積は何mLか。最も適当な数値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

①　30mL　②　100mL　③　500mL　④　1000mL
⑤　5000mL　⑥　10000mL

＜Note＞

第15講　中和反応と量的関係・塩(分類と液性)

(6)　中和反応と量的関係

酸と塩基の反応を中和反応とよぶ。通常H^+とOH^-から水ができるため，下記の式のように表すことができる。

$$H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$$

酸と塩基が過不足なく反応する点が中和点であり，中和点では酸のもつ水素イオンH^+の物質量と塩基のもつ水酸化物イオンOH^-の物質量が一致する。

これより，中和点では

酸の物質量×価数＝塩基の物質量×価数

が成立する。

2　塩

中和反応が起こると，水とともにイオン結合性物質が生じる。これが塩である。酸の水素イオンを他の陽イオンで置き換えたもの，もしくは塩基の水酸化物イオンを他の陰イオンで置き換えたものと考えることができる。これら塩の液性や反応を考えていく。

(1)　分類

分類	説明	例
酸性塩	酸のH^+が残っている塩	$NaHCO_3$
塩基性塩	塩基のOH^-が残っている塩	$CuCl(OH)$
正塩	酸のH^+も塩基のOH^-も残っていない塩	NH_4Cl

液性とは関係ないことに注意しなくてはならない。

(2)　液性

酸HXと塩基YOHの中和反応で生じる塩YXで考える。

液性は通常，HXとYOHの強弱で判断できる。

	Y (YOH由来)	X (HX由来)		液性	例
①	SB	SA	―正塩→	中性	NaCl
②	SB	SA	―酸性塩→	酸性	$NaHSO_4$
③	SB	WA	―→	塩基性	$NaHCO_3$
④	WB	SA	―→	酸性	NH_4Cl

(③④：強い方の性質を示す)

例外：NaH_2PO_4，$NaHSO_3$は③に相当するが，酸性を示す。

第15講　演習問題

1　(1)　0.30 mol/L の酢酸水溶液 10 mL を中和するのに，濃度不明の水酸化ナトリウム水溶液を 15 mL 要した。水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を求めよ。

(2)　1.26 g の結晶シュウ酸 $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$（分子量 126）を中和するのに，4.0％の水酸化ナトリウム（式量 40）水溶液（密度 1.05 g/mL）は何 mL 必要か求めよ。

2　塩化カリウムを含む，酸化カルシウム（式量 56）0.20 g をとり，これをちょうど中和するのに 0.20 mol/L の塩酸 25 mL を必要とした。もとの混合物中の酸化カルシウムの純度は何％か。

3　シュウ酸二水和物 $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 6.30 g を水に溶かして 1 L の溶液にした。そこから 10 mL を取り出して 0.1 mol/L の水酸化カリウム水溶液で滴定すると，水酸化カリウム水溶液を何 mL 加えたところで中和点に達するか。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　5　　②　10　　③　15　　④　20　　⑤　25

4　pH3.0 の酢酸水溶液 50 mL を中和するためには，0.40 mol/L の水酸化カルシウム水溶液が何 mL 必要か。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし．酢酸の電離度は 0.010 とする。

①　0.050　　②　0.10　　③　6.3　　④　13　　⑤　19

5　0.10 mol/L の塩酸 20 mL に 0.15 mol/L の水酸化カルシウム水溶液 10 mL を加えた。この溶液の pH はいくらか。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし $\log 3 = 0.48$ とする。

①　1.50　　②　3.50　　③　11.5　　④　12.5　　⑤　13.5

6　次の記述のうち，その内容が正しいものはどれか。

a．塩化アンモニウムは正塩であり，その水溶液は塩基性を示す。

b．酢酸ナトリウムは正塩であり，その水溶液は塩基性を示す。

c．硝酸カリウムは酸性塩であり，その水溶液は酸性を示す。

d．炭酸水素ナトリウムは酸性塩であり，その水溶液は酸性を示す。

e．硫酸銅は塩基性塩であり，その水溶液は塩基性を示す。

第15講　確認テスト

1　濃度不明の塩酸500mLと0.010mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液500mLを混合したところ，溶液のpHは2.0であった。このとき，塩酸の濃度(mol/L)として最も適当な数値を，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，溶液中の塩化水素の電離度を1.0とする。

①　0.010mol/L　②　0.020mol/L　③　0.030mol/L　④　0.040mol/L

⑤　0.050mol/L

2　つぎの物質の0.1mol/L水溶液をそれぞれ調製した。pHの大きい順に並べたものはどれか。

KOH　H_2SO_4　CH_3COOH　NaCl　CH_3COONa

1　CH_3COONa　KOH　CH_3COOH　NaCl　H_2SO_4
2　KOH　NaCl　CH_3COONa　CH_3COOH　H_2SO_4
3　H_2SO_4　CH_3COOH　NaCl　CH_3COONa　KOH
4　CH_3COONa　KOH　NaCl　CH_3COOH　H_2SO_4
5　KOH　CH_3COONa　NaCl　CH_3COOH　H_2SO_4

第16講　塩（反応）・中和滴定

2　塩（第15講のつづき）

(3)　塩の反応（弱酸・弱塩基由来の塩）

①　弱酸（弱塩基）遊離反応

弱酸の塩と強酸が反応すると弱酸が遊離する。

例　$CH_3COONa + HCl \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$

弱酸の塩　強酸　弱酸

弱酸は電離しにくいため，電離の逆反応が起こったと考えよう。

$CH_3COO^- + H^+ \rightleftarrows CH_3COOH$（電離）

②　塩の加水分解

弱酸や弱塩基由来の塩は水中で次のように加水分解が起こる。

例　CH_3COONa

$CH_3COONa \longrightarrow CH_3COO^- + Na^+$

$CH_3COO^- + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + OH^-$

これは，次のような電離の逆反応が起こったと考えられる。

$CH_3COO^- + H^+ \rightleftarrows CH_3COOH$

このときのH^+が水の電離によるものである。

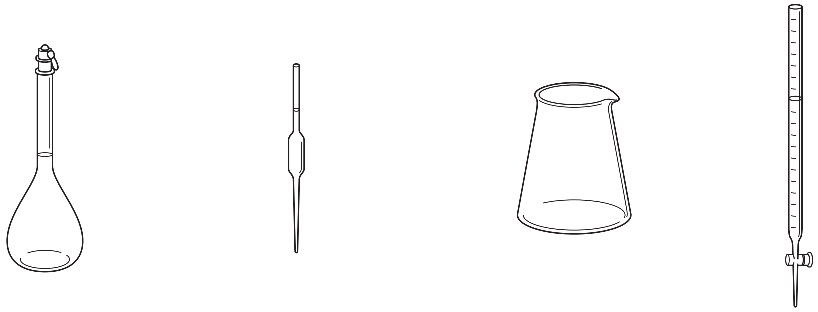
注：15講 2 (2)の液性で③，④に関しては，塩の加水分解が起こっている。そして例外に関しては，加水分解より電離が優先して起こっているため酸性を示す。

3　中和滴定

中和反応を利用すると，濃度のわからない酸（塩基）の濃度を求めることができる。また，分子量測定にも利用できるため，大事な実験の一つである。

(1)　器具

	メスフラスコ	ホールピペット	コニカルビーカー	ビュレット
	（溶液を調製）	（正確な体積を測りとる）		（溶液を滴下）

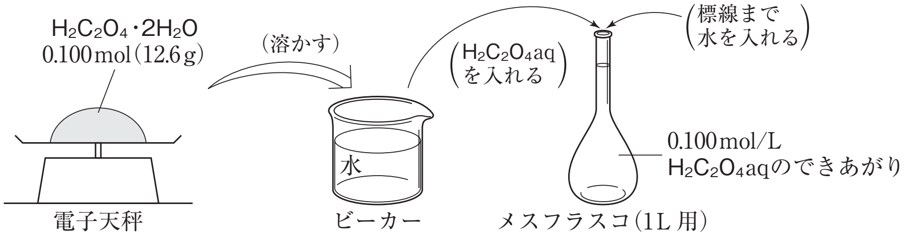


使用法	水で濡れたまま	共洗い	水で濡れたまま	共洗い

(2)　標準溶液の調製

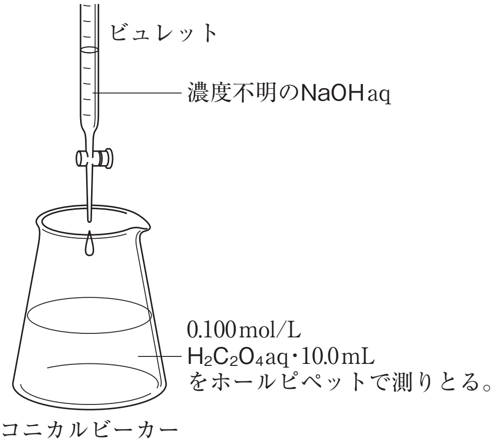
濃度が正確にわかっている溶液を標準溶液という。代表的なものにシュウ酸水溶液がある。

例：0.100 mol/L シュウ酸水溶液 1 L の調製



(3)　中和滴定

例：0.100 mol/L シュウ酸水溶液と濃度がわからない水酸化ナトリウム水溶液の中和滴定



第16講　演習問題

1　塩化アンモニウム水溶液が酸性を示す理由を反応式で記せ。

2　0.01mol/L 酢酸ナトリウム水溶液中に存在するイオン(H^+・OH^-・CH_3COO^-・Na^+)を数の多い順に並べるとどうなるか。次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$Na^+ > CH_3COO^- > H^+ > OH^-$　　②　$Na^+ > CH_3COO^- > OH^- > H^+$

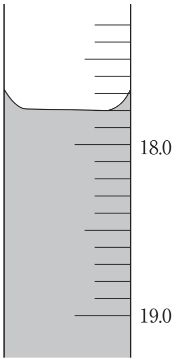
③　$CH_3COO^- > Na^+ > H^+ > OH^-$　　④　$CH_3COO^- > Na^+ > OH^- > H^+$

3　シュウ酸二水和物$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$を用いて，0.10mol/Lのシュウ酸水溶液$H_2C_2O_4$aqをつくりたい。正しい方法として適切なものを次の(1)～(6)のうちから一つ選べ。
ただし原子量はH＝1.0，C＝12，O＝16とする。

(1)　$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 9gを1Lの水に溶かす。
(2)　$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 9gを水に溶かして1Lとする。
(3)　$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 9gを991gの水に溶かす。
(4)　$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 12.6gを1Lの水に溶かす。
(5)　$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 12.6gを水に溶かして1Lとする。
(6)　$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 12.6gを987.4gの水に溶かす。

4　濃度不明の硫酸H_2SO_4aq（溶液Ａとする）がある。溶液Ａ 10.0mLをホールピペットではかりとり，容量100mLのメスフラスコに入れ，標線まで水を加えた（溶液Ｂとする）。次に，溶液B 20.0mLをホールピペットではかりとり，コニカルビーカーに入れ，指示薬を加えた。そしてビュレットから0.100mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を滴下したところ，最初のビュレットの目盛りが1.80mLから図のように変化したところで中和点に達した。

溶液 A 1.0L中に含まれていた硫酸H_2SO_4（分子量98）は何ｇか。



図

第16講　確認テスト

1　中和滴定の実験を以下の手順で行った。

0.100mol/Lのシュウ酸標準溶液を250mL調製するために，天秤を用いてシュウ酸二水和物$(COOH)_2\cdot 2H_2O$を［1］g量り取った。その結晶を少量の蒸留水に溶かして［2］に移し，さらに蒸留水を加えて全量を正確に250mLとした。この水溶液10.0mLを［3］で正確に量り取ってコニカルビーカーに移し，指示薬を1～2滴加えた。そのあと，［4］を用いて水酸化ナトリウム水溶液で滴定すると，10.30mL加えたところで，溶液の色が変化した。

問１　上の文章中の［1］に入る数字を答えなさい。ただし，シュウ酸二水和物の分子量を126とし，有効数字は3桁とする。

問２　上の文章中の［2］～［4］に入る最も適切な実験器具名を答えなさい。また，それぞれの使い方について，次の(ア)～(エ)の中で最も適切なものを1つ選び，記号で答えなさい。

(ア)　水道水で洗って，加熱乾燥して使う。

(イ)　蒸留水で洗って，ぬれたまま使う。

(ウ)　蒸留水で洗って，加熱乾燥して使う。

(エ)　蒸留水で洗った後，中に入れる水溶液で内部を数回洗って使う。

＜Note＞

第17講　滴定曲線・逆滴定

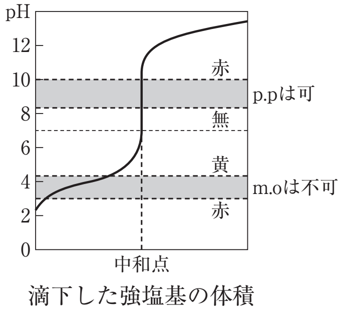
3　中和滴定（第16講のつづき）

⑷　中和点の判断

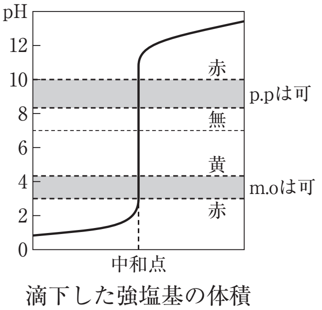
中和点ではpHが激変する。それを利用して中和点を判断することができる。

①pH測定

例：弱酸を強塩基で滴定



強酸を強塩基で滴定



②指示薬

指示薬は特定のpH域で分子構造が変化し，色が変化する物質である。中和点のpHに合わせて適切な指示薬を選ぶ必要がある。

例：

		変色域（pH）	
メチルオレンジ（m.o）	赤	3.1～4.4	黄
フェノールフタレイン（p.p）	無	8.3～10.0	赤

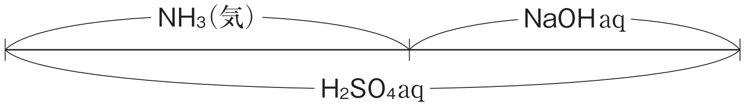
⑸　逆滴定

酸や塩基が気体の場合，通常の中和滴定の操作を行うことができない。そのときに行われるのが逆滴定である。

例：アンモニアNH_3の定量

NH_3を過剰の硫酸に通じて完全に吸収させた後，残った硫酸を水酸化ナトリウム水溶液で滴定する。

逆滴定を行っても，中和点では酸のH^+と塩基のOH^-が一致しているため，中和の公式をそのまま利用して計算するとよい。

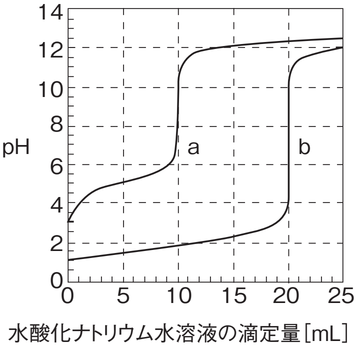


（m.o指示薬）

$$(NH_3\text{の}mol)\times(\text{価数})+(NaOH\text{の}mol)\times(\text{価数})$$
$$=(H_2SO_4\text{の}mol)\times(\text{価数})$$

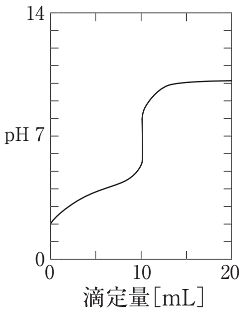
第17講　演習問題

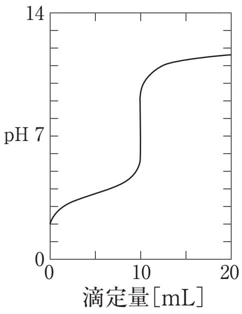
1　濃度が0.10mol/Lの酸a・bを10mLずつ取り，それぞれを0.10mol/L水酸化ナトリウム水溶液で滴定し，滴下量と溶液のpHとの関係を調べた。図に示した滴定曲線を与える酸の組合せとして最も適当なものを，①～⑥のうちから一つ選べ。

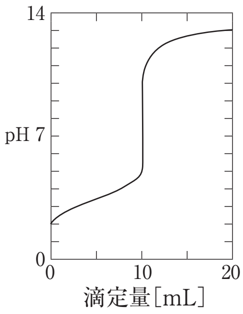


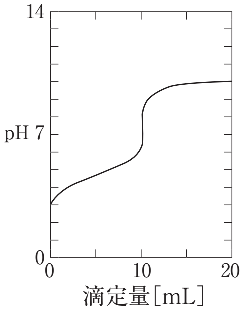
	a	b
①	塩　酸	酢　酸
②	酢　酸	塩　酸
③	硫　酸	塩　酸
④	塩　酸	硫　酸
⑤	硫　酸	酢　酸
⑥	酢　酸	硫　酸

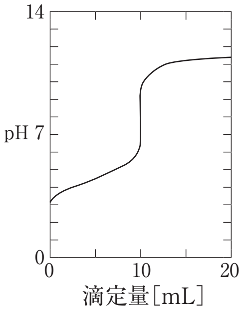
2　ある濃度の酢酸水溶液10.0mLを，0.010mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定しながら，その体積（滴下量）と溶液のpHとの関係を調べた。この実験で得られる滴定曲線として最も適当なものを，次の図①～⑥のうちから一つ選べ。

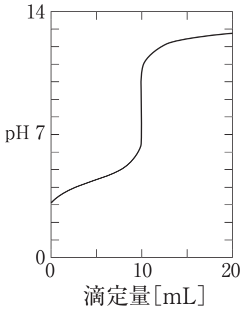
①


②


③


④


⑤


⑥


3　0.10mol/Lの希硫酸100mLにアンモニアを吸収させた後，0.50mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を加えたところ10.0mLで中和点に達した。吸収させたアンモニアの物質量は何molか。

4　0℃, 1.013×10^5 Paの空気10Lを0.010mol/Lの水酸化バリウム水溶液50mLに吸収させ，上澄み液を25mL取り出して0.10mol/Lの塩酸で滴定したところ3.4mLで中和点に達した。空気中に含まれていた二酸化炭素の体積百分率は何％か。ただし，空気中の気体で水酸化バリウムと反応するのは二酸化炭素のみとする。

第17講　確認テスト

1　食酢を水で20倍に薄めた水溶液5.00mLに指示薬(A)を加え，0.100mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ，1.75mLを要した。適切な指示薬ともとの食酢中に含まれる酢酸の質量パーセント濃度(B)の組合せを求めよ。ただし，酢酸の分子量を60とし，食酢の密度を1.00g/cm^3とする。

ア　A：メチルオレンジ　B：2.10%
イ　A：メチルオレンジ　B：4.20%
ウ　A：フェノールフタレイン　B：2.10%
エ　A：フェノールフタレイン　B：4.20%
オ　A：フェノールフタレイン　B：4.50%

第18講　二段滴定・中和の総合

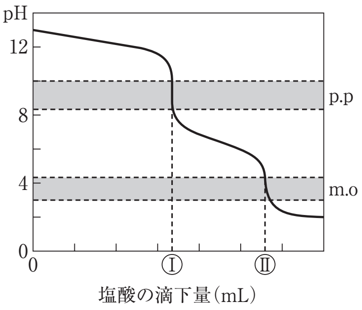
3　中和滴定（第17講のつづき）

(6)　二段滴定

水酸化ナトリウムは空気中の二酸化炭素と中和反応を起こし，一部が炭酸ナトリウムに変化してしまう。この混合物中の水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムのそれぞれの量を求めるために利用されるのが二段滴定である。

Ⅰ（p.pで検出）
$NaOH + HCl \longrightarrow NaCl + H_2O$
$Na_2CO_3 + HCl \longrightarrow NaHCO_3 + NaCl$

Ⅱ（m.oで検出）
$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow H_2O + CO_2 + NaCl$



第18講　演習問題

1　濃度不明の炭酸ナトリウム水溶液20.0mLをコニカルビーカーにはかりとり，0.10mol/Lの塩酸をビュレットから滴下したところ，図のような滴定曲線が得られた。

炭酸ナトリウム水溶液の濃度は何mol/Lか。

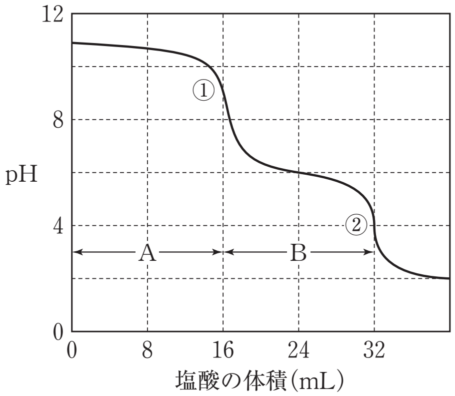


図　　滴定曲線

2　水酸化ナトリウムNaOH(式量40)と炭酸ナトリウムNa_2CO_3(式量106)の混合物Xを水に溶かして500mLとした。この水溶液25.0mLをはかりとり，フェノールフタレインを指示薬として0.100mol/Lの塩酸で滴定したところ20.0mLで変色した。さらにこの水溶液にメチルオレンジを加えて同じ塩酸で滴定したところ，5.00mLで変色した。Xに含まれていたNaOHとNa_2CO_3の質量はそれぞれ何gか。

3　次の文を読み，問１～問６に答えよ。

濃度のわからない硫酸水溶液(溶液Ａとする)とアンモニア水(溶液Ｂとする)がある。これらの濃度を決定するために，以下の実験を行った。

［実験1］

2.00mLの溶液Aをコニカルビーカーに入れ，これに約10mLの水と少量の指示薬を加えた。一方，ビュレットに0.100mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を入れ，これをコニカルビーカーに滴下していったところ，14.40mL滴下したところで過不足なく中和した。

［実験2］

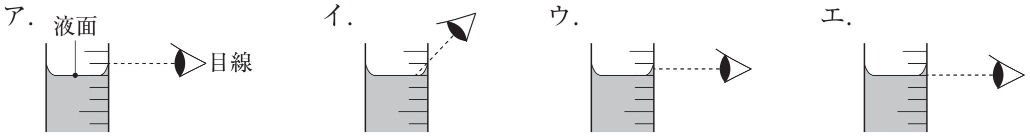
10.0mLの溶液Ａと，同じく10.0mLの溶液Ｂをコニカルビーカーに入れ，少量の指示薬を加えた。これにビュレットを用いて0.100mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を滴下していったところ，23.40mL滴下したところで過不足なく中和した。

［実験3］

(a) を用いて20.0mLの溶液Ａを正確にはかり取り，100mLの (b) に入れ，これに標線まで水を加えて溶液Ｃを調製した。一方，2.00mLの溶液Ｂをコニカルビーカーに入れ，これに約20mLの水と少量の指示薬を加えた。溶液Ｃをビュレットに入れ，これをコニカルビーカーに滴下していったところ， (c) mL滴下したところで過不足なく中和した。

問１　ビュレットの目盛りの読み方として正しいものを次の【解答群】の中から選べ。

【解答群】



問２　［実験1］および［実験3］で用いることができる指示薬について最も適当なものを次の【解答群】の中から選び，それぞれ記号を記せ。

【解答群】

ア．フェノールフタレインは用いることができるが，メチルオレンジは用いることができない。

イ．メチルオレンジは用いることができるが，フェノールフタレインは用いることができない。

ウ．フェノールフタレインおよびメチルオレンジのどちらを用いてもよい。

問３　アンモニア水が塩基性を示す理由を，アレニウスの酸・塩基の定義に基づいて40字程度で記せ。化学式やイオン式，化学反応式を用いて説明してもよい。

問４　［実験1］について，溶液Ａの濃度〔mol/L〕を有効数字3桁で求め，数値を記せ。

問５　［実験2］について，問4で求めた溶液Aの濃度を用いて，溶液Bの濃度〔mol/L〕を有効数字3桁で求め，数値を記せ。

問６　［実験3］について，次の問いに答えよ。

1)　文中の［(a)］および［(b)］に当てはまる最も適当な器具の名称を記せ。

2)　［(c)］にはいる数値を有効数字3桁で求め，数値を記せ。

第18講　確認テスト

1　水酸化ナトリウム（式量40）と炭酸ナトリウム（式量106）の混合溶液が100mLある。

この水溶液を正確に20mLはかりとり，0.20mol/Lの塩酸でフェノールフタレインを指示薬として滴定したところ，塩酸40mLで溶液の色が変化した。さらに，メチルオレンジを指示薬として加え，0.20mol/Lの塩酸で滴定を続けたところ，塩酸5.0mLで溶液の色が変化した。このとき，はじめの水溶液100mLに含まれていた炭酸ナトリウムの質量は何gか。

＜Note＞

第５章　酸化還元・電気化学

第19講　酸化還元（定義・酸化数・代表的な酸化剤還元剤・酸化還元反応）

酸化還元は電子が移動する反応だが，移動する電子は化学反応式上では見えない。そこが酸化還元反応の難しい点である。よって電子の移動を捉えるために，酸化数や半反応式を用いたり，代表的な酸化剤還元剤を知っておく必要がある。必要な知識をきちんと頭に入れて，問題演習に取り組まなくてはならない。

⑴　定義

	電子	酸素原子	水素原子	酸化数
酸化	失う	得る	失う	増加
還元	得る	失う	得る	減少

⑵　酸化数

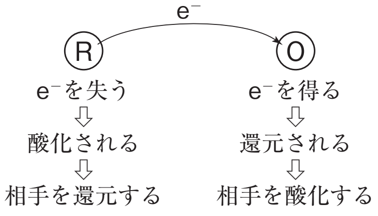
実質的な電荷である。求め方は，電子式を書き，電気陰性度の大きい元素の方へ電子を帰属させていく。

例	H : H	H : Cl	Na : H
	($\chi_H = \chi_H$)	($\chi_H < \chi_{Cl}$)	($\chi_{Na} < \chi_H$)
酸化数	0　　0	+1　−1	+1　−1

判断法（有機化合物などには使えないので注意）

- ・単体は０
- ・化合物は酸化数の総和が０
- ・イオンは酸化数の総和が価数と一致
- ・水素原子→＋１（金属の水素化合物の場合：水素原子は－１）
- ・酸素原子→－２（過酸化物の場合：酸素原子は－１）
- ・アルカリ金属→＋１，２族→＋２，ハロゲン→－１

⑶　酸化剤・還元剤



- 酸化剤Ⓞ：相手を酸化する物質（自身は還元される）
- 還元剤Ⓡ：相手を還元する物質（自身は酸化される）

※代表的な酸化剤

過マンガン酸カリウム(酸性下)	MnO_4^- (赤紫色)	⟶	Mn^{2+} (無色)
過マンガン酸カリウム(塩基性下)	MnO_4^-	⟶	MnO_2
二クロム酸カリウム	$Cr_2O_7^{2-}$ (橙色)	⟶	Cr^{3+} (緑色)
濃硝酸	HNO_3	⟶	NO_2
希硝酸	HNO_3	⟶	NO
熱濃硫酸	H_2SO_4	⟶	SO_2
ハロゲン単体	X_2	⟶	X^-
過酸化水素	H_2O_2	⟶	H_2O
二酸化硫黄	SO_2	⟶	S
オゾン	O_3	⟶	O_2

※代表的な還元剤

金属の単体(M)	M	⟶	M^{n+}
硫化水素	H_2S	⟶	S
シュウ酸	$H_2C_2O_4$	⟶	CO_2
二酸化硫黄	SO_2	⟶	SO_4^{2-}
過酸化水素	H_2O_2	⟶	O_2
ハロゲン化物イオン(X^-)	X^-	⟶	X_2
塩化スズ(Ⅱ)	Sn^{2+}	⟶	Sn^{4+}
硫酸鉄(Ⅱ)	Fe^{2+}	⟶	Fe^{3+}
水素	H_2	⟶	H^+
チオ硫酸ナトリウム	$S_2O_3^{2-}$	⟶	$S_4O_6^{2-}$

※酸化剤にも還元剤にもなるもの

過酸化水素，二酸化硫黄

⑷　酸化還元反応

酸化剤と還元剤の反応が酸化還元反応であり，酸化と還元は必ず同時に起こる。
酸化剤は電子を得るため，反応後は弱い還元剤になり，還元剤は電子を失うため，反応後は弱い酸化剤になる。

Ⓞ　＋　Ⓡ　⟶　弱いⓇ　＋　弱いⓄ

a　判断

酸化還元反応は，化学反応式を見ても電子の授受はわからないため，判断しにくい。電子の授受を捉えるには，酸化数を調べるとよいが，それでは時間がかかってしまう。
そこで

- **反応式の中に単体がある**
- **知っている酸化剤・還元剤の組み合わせである**

この２点に注目して探すとよい。
よって，⑶の代表的な酸化剤・還元剤はしっかり頭にいれ，酸化還元以外の反応もきちんと判断できるようになっておこう。

第19講　演習問題

1　下線をつけた原子の酸化数を答えよ。

(1)　$\underline{C}H_4$　(2)　$H\underline{Cl}O_3$　(3)　$Li\underline{H}$　(4)　$H_2\underline{S}O_4$　(5)　$K\underline{Mn}O_4$　(6)　$\underline{Fe}_2(SO_4)_3$

2　次の反応a～cから，H_2O_2，H_2S，SO_2の酸化作用の強さの順序を知ることができる。これらの物質が酸化作用の強さの順に正しく並べられているものを，以下の①～⑥のうちから一つ選べ。

a　$H_2O_2 + SO_2 \longrightarrow H_2SO_4$

b　$H_2S + H_2O_2 \longrightarrow S + 2H_2O$

c　$SO_2 + 2H_2S \longrightarrow 3S + 2H_2O$

①　$H_2O_2 > H_2S > SO_2$　②　$H_2O_2 > SO_2 > H_2S$

③　$H_2S > H_2O_2 > SO_2$　④　$H_2S > SO_2 > H_2O_2$

⑤　$SO_2 > H_2O_2 > H_2S$　⑥　$SO_2 > H_2S > H_2O_2$

3　次の還元反応a･bから，Fe^{3+}，Sn^{4+}，$Cr_2O_7{}^{2-}$の酸化力の強さを比較することができる。これらのイオンを酸化力の強さの順に並べるとどうなるか。以下の①～⑥のうちから，正しいものを一つ選べ。

a　$2Fe^{3+} + Sn^{2+} \longrightarrow 2Fe^{2+} + Sn^{4+}$

b　$Cr_2O_7{}^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$

①　$Fe^{3+} > Sn^{4+} > Cr_2O_7{}^{2-}$　②　$Sn^{4+} > Cr_2O_7{}^{2-} > Fe^{3+}$

③　$Cr_2O_7{}^{2-} > Fe^{3+} > Sn^{4+}$　④　$Sn^{4+} > Fe^{3+} > Cr_2O_7{}^{2-}$

⑤　$Cr_2O_7{}^{2-} > Sn^{4+} > Fe^{3+}$　⑥　$Fe^{3+} > Cr_2O_7{}^{2-} > Sn^{4+}$

4　次の化学変化①～⑤の中で酸化還元反応はいくつあるか。

①　$Cu + 2H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$

②　$2H_2S + SO_2 \longrightarrow 3S + 2H_2O$

③　$NaCl + H_2SO_4 \longrightarrow HCl + NaHSO_4$

④　$H_2O_2 + SO_2 \longrightarrow H_2SO_4$

⑤　$K_2Cr_2O_7 + 2KOH \longrightarrow 2K_2CrO_4 + H_2O$

第19講　確認テスト

1　下線を付した原子の酸化数が等しいのはどれか。

A　$\underline{Cl}_2$　　B　$N\underline{H}_4^{+}$　　C　$H_2\underline{O}_2$　　D　$Na\underline{H}$　　E　$Cu\underline{O}$

ア　AとE　　イ　BとA　　ウ　CとD　　エ　DとB　　オ　CとE

＜Note＞

第20講　酸化還元（反応式・量的関係）

b　酸化還元反応式

酸化還元反応式は，一度に全てを書くのは難しい。よって，酸化剤の式，還元剤の式（半反応式）を別々に書いて一つにまとめていく。半反応式を見ると電子が確認できるという利点もある。

作り方

①酸化剤，還元剤が何に変わるかを書く

Ⓞ $MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+}$

Ⓡ $H_2C_2O_4 \longrightarrow 2CO_2$

②酸素原子の数を水でそろえる

Ⓞ $MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

Ⓡ $H_2C_2O_4 \longrightarrow 2CO_2$

③水素原子の数を水素イオンでそろえる

Ⓞ $MnO_4^- + 8H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

Ⓡ $H_2C_2O_4 \longrightarrow 2CO_2 + 2H^+$

④電荷を電子でそろえる

Ⓞ $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

Ⓡ $H_2C_2O_4 \longrightarrow 2CO_2 + 2H^+ + 2e^-$

⑤電子の係数をそろえて２式をたす

$2MnO_4^- + 5H_2C_2O_4 + 6H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 10CO_2$

⑥省略イオンを追加する

$2KMnO_4 + 5H_2C_2O_4 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 2MnSO_4 + 8H_2O + 10CO_2 + K_2SO_4$

c　当量点での量的関係

当量点では酸化剤が得た電子の物質量と還元剤が失った電子の物質量が一致する。

酸化剤が得た電子の物質量＝還元剤の失った電子の物質量

これは

酸化剤の物質量×価数＝還元剤の物質量×価数

と表すことができる。

＊酸化剤(還元剤)の価数とは，酸化剤(還元剤)1molが得る(失う)電子の物質量のことである。半反応式から判断するとよい。

☆酸化還元反応を利用したのが，電池電気分解である。電気化学に入る前にしっかり復習しておこう。

第20講　演習問題

1　次の酸化還元反応式をかけ。

(1)　硫酸H_2SO_4を加えて酸性にした過酸化水素水H_2O_2に過マンガン酸カリウム$KMnO_4$水溶液を加える。

(2)　硫化水素水H_2Sに二酸化硫黄SO_2を吹き込む。

(3)　ヨウ化カリウムKI水溶液に過酸化水素水H_2O_2を加える。

2　硫酸酸性にした0.040mol/Lの過酸化水素水20mLに，0.020mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液を滴下し，酸化還元滴定を行った。終点までに加えた過マンガン酸カリウム水溶液の体積は何mLか。また，終点ではどのような変化が見られるか。

3　濃度不明の過酸化水素水10.0mLを200mLのコニカルビーカーに入れ，純水25.0mLと3.0mol/Lの硫酸5.0mLを加えた。この溶液に0.0100mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液をビュレットから滴下しとところ，20.0mL加えたところで終点となった。過酸化水素水の濃度は何mol/Lか。

第20講　確認テスト

1　硫酸酸性下で硫酸鉄(Ⅱ)水溶液5.00mLに，0.020mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液を滴下したところ，溶液が無色から淡赤色を示すまでに7.50mLを要した。硫酸鉄(Ⅱ)水溶液のモル濃度を求めよ。ただし，過マンガン酸カリウム(硫酸酸性下)と硫酸鉄(Ⅱ)は次のように変化する。

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

$$Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^-$$

ア　0.10mol/L　　イ　0.15mol/L　　ウ　0.20mol/L　　エ　0.25mol/L
オ　0.30mol/L

第21講　ボルタ電池・ダニエル電池・電気量計算

1　金属のイオン化傾向

金属の単体は還元剤である。それは，電子を捨てて陽イオンになる性質(陽性)をもっているからである。この陽性の強弱を表しているのがイオン化傾向と考えることができる。この性質を利用しているのが電池電気分解であるため，しっかり押さえておこう。

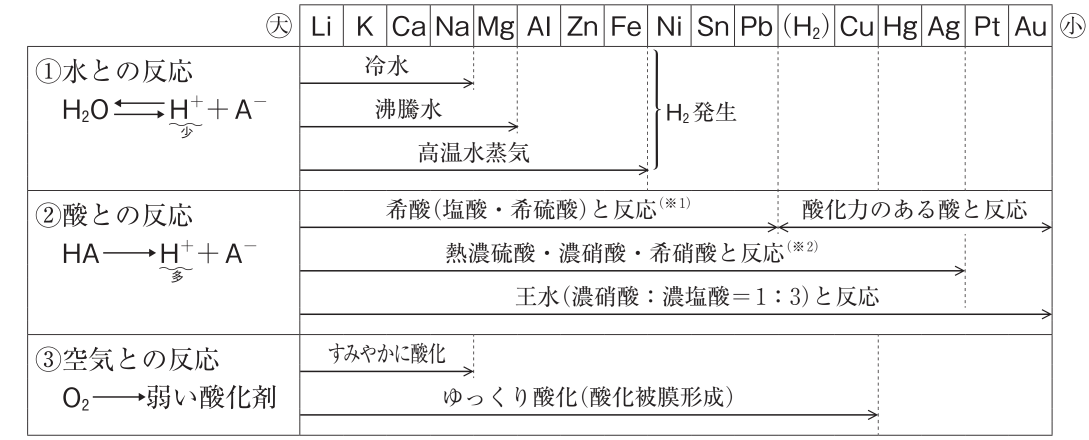
(1)　イオン化傾向

金属の単体が水中で電子を放出し，陽イオンになる性質をイオン化傾向という。
イオン化傾向の異なる金属が存在するとき，イオン化傾向の大きい金属が電子を放出して陽イオンになり，小さい金属がその電子を受け取ることとなる。

例　$Cu^{2+} + Zn \longrightarrow Cu + Zn^{2+}$
　　（Zn → Cu^{2+}：$2e^-$）

(2)　イオン化列

イオン化傾向の大きい金属から小さい金属へ順に並べたものを金属のイオン化列という。



①水との反応

水はほとんど電離していないため，水素イオンが非常に少なく，極めて弱い酸化剤である。よって水と反応できるのはイオン化傾向の大きい金属のみである。

例　$2Na + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2$

②酸との反応

酸は水素イオンを多くもつため，イオン化傾向が水素よりも大きい金属は塩酸や希硫酸と反応できる。

例　$Zn + 2HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$

ただしPbは$PbCl_2$，$PbSO_4$となるため，塩酸や希硫酸とはほとんど反応しない。(※1)
イオン化傾向が水素より小さい金属は酸化力の強い酸と反応することができる(Cu，Hg，Agは濃硝酸，希硝酸，熱濃硫酸と反応。Pt，Auは王水と反応)。

例　$3Cu + 8HNO_3 \longrightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$

ただし，Fe，Ni，Alは不動態となるため，濃硝酸，熱濃硫酸に不溶である。(※2)

③空気(酸素)との反応

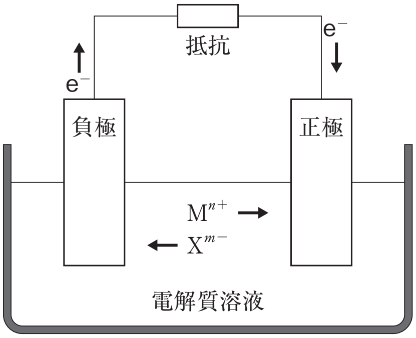
酸素は弱い酸化剤であるため，イオン化傾向の大きい金属が反応していく。

例　$4Na + O_2 \longrightarrow 2Na_2O$

2　電池

ビーカーの中で酸化還元反応が起こっても電流は流れていない。それは酸化反応と還元反応が同じ場所で起こっているからである。酸化反応と還元反応を別々の場所で起こすことにより電流を取り出すことができる。このように，酸化還元反応による化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置が電池である。

(1)　原理



一般にイオン化傾向の異なる２種類の金属(電極)を導線でつなぎ，電解質溶液に浸すと電池が形成される。イオン化傾向の大きい金属は電子を放出して陽イオンになり，イオン化傾向の小さい金属はその電子を受け取る。このとき，電子を放出した電極を負極とよび，電子を受け取った電極を正極とよぶ。

また，正極と負極の電位差を起電力とよぶ。これは，電流を流そうとする力に相当すると考えるとよい。一般に，両電極のイオン化傾向の差が大きいほど起電力も大きくなる。

(2)　電気化学の計算

流れた電気量は次のように表す。

電気量(C)＝電流(A)×時間(秒)
（C：クーロン）

また，電子 1 mol の電気量が 9.65×10^4 C/mol(ファラデー定数)であるため，

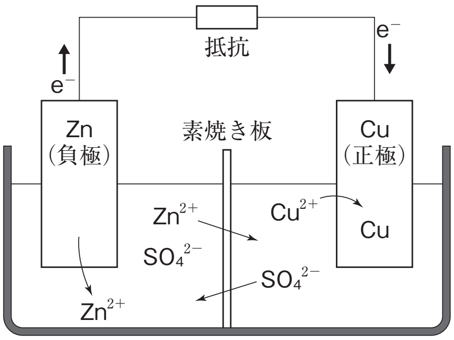
$$\frac{\text{電気量(C)}}{9.65\times10^4\,(\text{C/mol})}=\text{流れた電子の物質量(mol)}$$

(3) 代表的な電池

①**ダニエル電池**　(−)Zn｜$ZnSO_4$aq‖$CuSO_4$aq｜Cu(＋)

(−)　Zn ⟶ Zn^{2+}＋$2e^-$

(＋)　Cu^{2+}＋$2e^-$ ⟶ Cu



素焼板…溶液の混合を防ぐ役割。

電気的中性を保つようにイオンが移動していく。

負極側から正極側へZn^{2+}，正極側から負極側へSO_4^{2-}が移動する。

第21講　演習問題

1　ボルタ電池を放電させたところ，亜鉛板の質量が0.325g減少した。このとき流れた電気量は何クーロンか。ただし，亜鉛の原子量は65，ファラデー定数は96500C/molとする。

2　ダニエル電池（$Zn|ZnSO_4aq||CuSO_4aq|Cu$）を放電して30分後に銅板の質量が1.4g増加した。このとき流れた電流は何アンペアか。ただし銅の原子量は63.5，ファラデー定数は96500C/molとする。

第21講　確認テスト

1　次のようなダニエル電池について，a～dの記述の正誤の組合せとして適切なものを選べ。

（－）Zn｜$ZnSO_4$ aq｜｜$CuSO_4$ aq｜Cu（＋）

Znの原子量は65，ファラデー定数は96500C/molとする。

a. 正極の活物質は銅電極である。

b. 電流は銅電極側から亜鉛電極側に流れる。

c. 素焼き容器の役割はイオンの選択的な透過性にある。

d. 硫酸亜鉛水溶液に2.0Aの電流が16分5秒流れたとすると，亜鉛電極は約1.3g軽くなる。

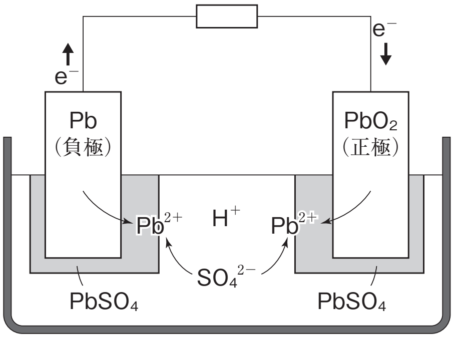
	a	b	c	d
ア	誤	誤	正	誤
イ	正	誤	誤	正
ウ	正	誤	正	誤
エ	誤	正	誤	正
オ	誤	正	誤	誤

第22講　鉛蓄電池・燃料電池

2　電池（第21講のつづき）

(3)　代表的な電池

②鉛蓄電池　$(-)Pb \mid H_2SO_4aq \mid PbO_2(+)$



（－）　$Pb + SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_4 + 2e^-$

（＋）　$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

全体　$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightleftarrows 2PbSO_4 + 2H_2O$

放電するとH_2SO_4が減少し，H_2Oが増加するため，H_2SO_4aqの濃度は減少していき，密度が小さくなる。
また，外部電源に接続すると，充電できる。
このように充電できる電池を二次電池とよぶ。

③燃料電池

リン酸型　$(-)H_2 \mid H_3PO_4aq \mid O_2(+)$

（－）　$H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$

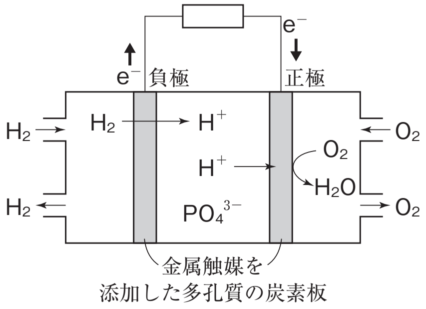
（＋）　$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$

水酸化カリウム型　$(-)H_2 \mid KOHaq \mid O_2(+)$

（－）　$H_2 + 2OH^- \longrightarrow 2H_2O + 2e^-$

（＋）　$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

水素の燃焼により放出されるエネルギーを電気エネルギーにして取り出す電池である。



リン酸型

第22講　演習問題

1　鉛蓄電池を放電させたところ，負極の鉛Pb（原子量207）が10.35g反応した。このとき流れた電気量は何クーロンか。ファラデー定数は96500C/molとする。

2　鉛蓄電池の構成は，次のように表される。

$Pb|H_2SO_4\,aq|PbO_2$

この電池の両極を外部回路に接続し，1.0Aの一定電流で965秒間放電させたとき，この放電による負極の質量の変化として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，原子量はO：16，S：32，ファラデー定数は96500C/molとする。

①　0.96g増加　②　0.48g増加　③　0.32g増加
④　0.32g減少　⑤　1.0g減少　⑥　2.1g減少

3　鉛蓄電池を放電したときの化学反応式は次のようになる。

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$$

33％の希硫酸1000gを電解液とした鉛蓄電池を96500C放電させると，希硫酸の濃度はおよそ何％になるか。ただし，原子量はH：1.0，O：16，S：32，ファラデー定数は96500C/molとする。

4　各極に白金，電解液にリン酸水溶液を用いた燃料電池がある。0℃，1.013×10^5Paで11.2Lの水素が消費されたとき，何クーロンの電気量が流れるか。ただし，ファラデー定数は96500C/mol　とする。

第22講　確認テスト

1　30.0％の希硫酸300gに，鉛と酸化鉛(Ⅳ)を電極として浸した鉛蓄電池から，1.93×10^4C の電気量をとり出した場合，希硫酸の濃度は何％に変化するか。もっとも近い値を選べ。硫酸の分子量は98，水の分子量は18とする。

ア　22.4％　　イ　23.5％　　ウ　24.8％　　エ　25.6％　　オ　27.8％

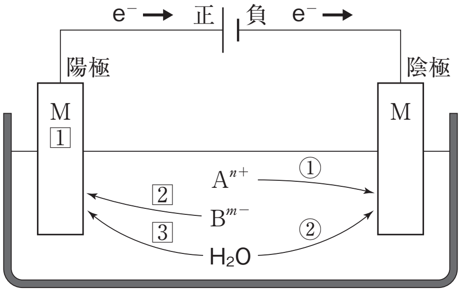
＜Note＞

第23講　電気分解（各極の式・計算）

3　電気分解

自発的に反応が起こらない酸化還元反応を，電池を利用して強制的に進めていくのが電気分解である。
電池の負極から流れてくる電子と反応するのは何なのか，電池の正極に流れる電子を放出したのは何なのか，を考えながら，各極で起こる変化をとらえていこう。

(1)　各極の反応



陰極：電池の負極につないだ電極。
電池から放出される電子を受け取り，次のような還元反応が起こる。
①一般にイオン化傾向がZnより小さい金属（重金属）の陽イオンが還元され，金属の単体が生成する。
例：$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$
②水素イオンや水が還元され，気体の水素が発生する。
例：$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$
$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

陽極：電池の正極につないだ電極。
電池へ電子を送り込むため，次のような酸化反応が起こる。
1 電極（Pt，Au，C 以外）が酸化され，陽イオンに変わる。
例：$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$
2 ハロゲン化物イオンが酸化され，ハロゲンの単体が生成する。
例：$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$
3 水酸化物イオンや水が酸化され，気体の酸素が発生する。
例：$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$
$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

第23講　演習問題

1　次の(1)〜(4)の各電極で起こる化学変化を，イオン反応式で記せ。

(1)　陽極C・陰極Pt・電解液$CuCl_2$水溶液

(2)　陽極Pt・陰極Pt・電解液H_2SO_4水溶液

(3)　陽極Pt・陰極Pt・電解液NaOH水溶液

(4)　陽極Cu・陰極Cu・電解液$CuSO_4$水溶液

2　白金電極を用いて，硫酸銅（Ⅱ）$CuSO_4$水溶液の電気分解をおこなった。次の問いに答えよ。

(1)　各極の変化をイオン反応式で記せ。

(2)　1.0 Aの電流を1時間4分20秒流したとき，陽極で発生する気体の体積は0℃，1.013×10^5Paで何Lか。ただし，ファラデー定数は96500C/molとする。

(3)　1930Cの電気量を流したあと，電解液中の酸を中和したい。1.0mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液が何mL必要か。

第23講　確認テスト

1　次の(a)〜(d)の各水溶液を，白金電極を用いて電気分解した。

(a)　ヨウ化カリウム水溶液

(b)　硝酸銀水溶液

(c)　水酸化ナトリウム水溶液

(d)　塩酸

電気分解で水素が発生する水溶液のみをすべて含む組合せはどれか。

(1)　(a), (b)　(2)　(a), (c)　(3)　(a), (d)　(4)　(b), (c)

(5)　(b), (d)　(6)　(c), (d)　(7)　(a), (b), (c)　(8)　(a), (b), (d)

(9)　(a), (c), (d)　(10)　(b), (c), (d)

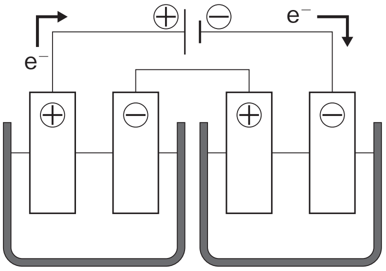
＜Note＞

第24講　電気分解（直列並列の計算・工業的製法）

3　電気分解（第23講のつづき）

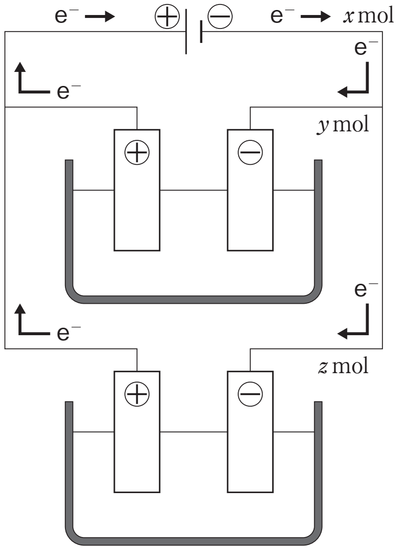
(2)　直列・並列

①　直列



全ての電極に同量の電子が流れる。

②　並列



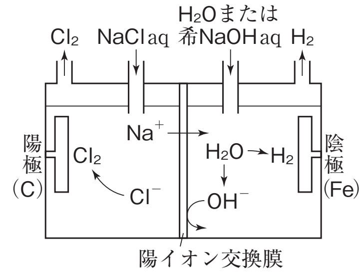
電解槽ごとに流れる電子の量が異なる。

$$x = y + z$$

⑶　電気分解を利用した工業的製法

① 水酸化ナトリウムの製法

陽極に炭素電極と塩化ナトリウム水溶液，陰極に鉄と希水酸化ナトリウム水溶液を用い，両極を陽イオン交換膜で仕切って電気分解を行う。



$$(+)2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

$$(-)2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$$

陽イオン交換膜を使用するのは，陽極で発生する塩素と陰極で発生する水酸化ナトリウムが混合し，反応するのを防ぐためである。もし，隔膜を使用しなければ，

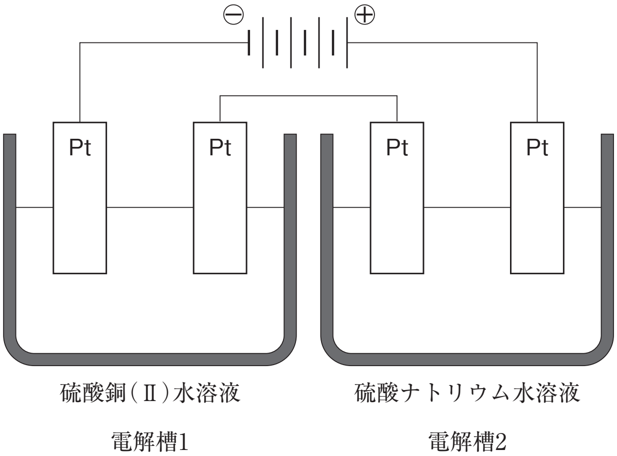
$$2NaOH + Cl_2 \longrightarrow NaCl + NaClO + H_2O$$

の中和反応が起こり，水酸化ナトリウムが消費されてしまう。

第24講　演習問題

1　下図のように，電極は全て白金，電解槽1には硫酸銅（Ⅱ）$CuSO_4$水溶液100mL，電解槽2には硫酸ナトリウムNa_2SO_4水溶液100mLを入れて一定時間電流を通じたところ，電解槽1の陰極に0.127gの銅が析出した。

このとき，電解槽2の両極で発生した気体の体積の合計は0℃，1.013×10^5Paで何mLか。ただし，銅の原子量は63.5とする。

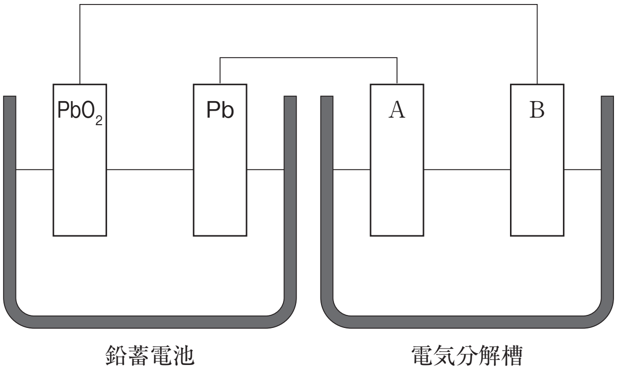


図

2　下図のように，鉛蓄電池を用いて塩化ナトリウムNaCl水溶液の電気分解をおこなった。電極は白金である。次の問いに答えよ。

(1)　電極A，電極Bで発生または析出する物質は何か。化学式で答えよ。

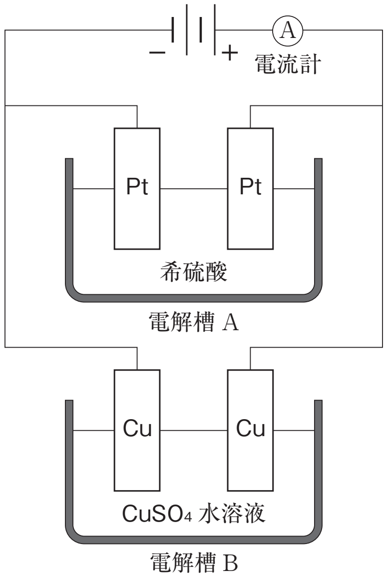
(2)　5.0 Aの電流で16分5秒間電気分解をおこなったとき，回路を流れた電子は何molか。ただし，ファラデー定数は96500C/molとする。



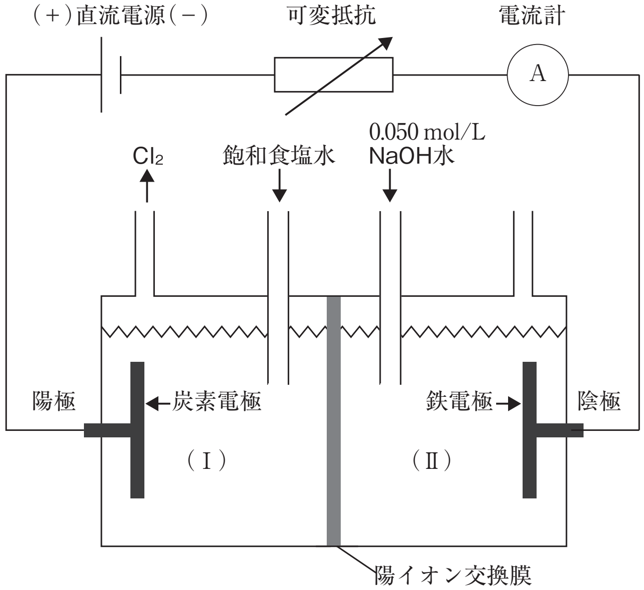
図

3　図のように2つの電解槽を並列につなぎ，7720Cの電気量で電気分解をおこなったところ，B槽の陰極で1.27gの銅が析出した。

このとき，A槽の両極から発生する気体の合計量は何molか。ただし，銅の原子量は63.5，ファラデー定数は96500C/molとする。



4　図に示すように，電解槽を陽イオン交換膜(陽イオンだけを通過させる特殊な膜)で仕切り，左側の(Ⅰ)には飽和食塩水を1.0L注入し，右側の(Ⅱ)には0.050mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を1.0L注入し，電気分解したところ，(Ⅰ)から塩素ガスが0℃，1.013×10^5Paに換算して560mL発生した。ただし，溶液の体積変化はなく，発生した気体も溶液に溶解しないものとして，以下の問a・bに答えよ。ただし，ファラデー定数は96500C/molとする。



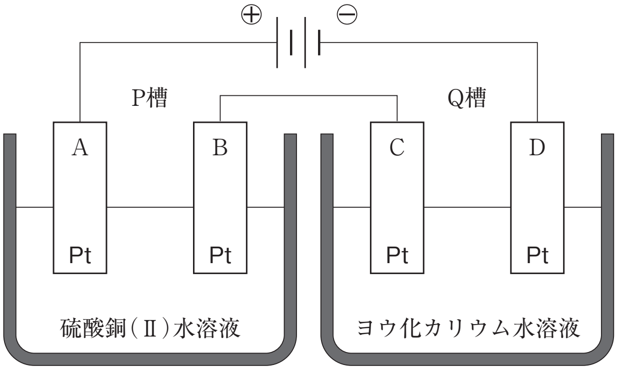
a. この電気分解を2.5Aの電流で行うと，約何分かかるか。ただし，溶液の体積変化はなく，発生した気体は溶液に溶解しないものとする。

b. 電気分解後の(Ⅱ)の水溶液のpHは，いくらになるか。

第24講　確認テスト

1　次の文章を読んで，下の問(1)～(5)に答えよ。ただし，気体はすべて理想気体として扱えるものとする。また，Cuの原子量は63.5，ファラデー定数は96500C/molとする。

図のように，電極A～Dに白金を用いた装置で，ある一定の電流を通じ，32分10秒間電気分解を行ったところ，電極Aから［(a)］が，電極Dから［(b)］が気体として発生し，電極Bには［(c)］が析出した。電極Dから発生した気体は0℃，1.013×10^5Paで1.12Lであった。



問(1)　電極A～Dで起こる反応の組合せとして，最も適切なものを表の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。

	A	B	C	D
(ア)	酸化	酸化	還元	還元
(イ)	還元	還元	酸化	酸化
(ウ)	酸化	還元	酸化	還元
(エ)	還元	酸化	還元	酸化
(オ)	酸化	還元	還元	酸化
(カ)	還元	酸化	酸化	還元

問(2)　文章中の空欄［(a)］～［(c)］にあてはまる最も適切な語句を，下の(ア)～(カ)の中から，それぞれ一つずつ選べ。

(ア)　水素　　(イ)　酸素　　(ウ)　ヨウ素
(エ)　銅　　(オ)　硫黄　　(カ)　二酸化炭素

問(3)　通じた電気量は何Cか。次の(ア)～(カ)の中から最も近い値を一つ選べ。

(ア)　9.65×10^2　　(イ)　3.86×10^3　　(ウ)　5.56×10^3
(エ)　9.65×10^3　　(オ)　1.54×10^4　　(カ)　1.93×10^4

問(4)　一定電流は何Aか。次の(ア)～(カ)の中から最も近い値を一つ選べ。

(ア)　1.00　　(イ)　2.00　　(ウ)　3.00　　(エ)　4.00　　(オ)　5.00　　(カ)　6.00

問(5)　電極Bに析出した物質は何gか。次の(ア)～(カ)の中から最も近い値を一つ選べ。

(ア)　3.18　　(イ)　6.35　　(ウ)　9.53　　(エ)　12.7　　(オ)　15.9　　(カ)　19.1

＜Note＞

第25講　電気分解（工業的製法）

3　電気分解（第24講のつづき）

(3)　電気分解を利用した工業的製法

②　銅の電解精錬

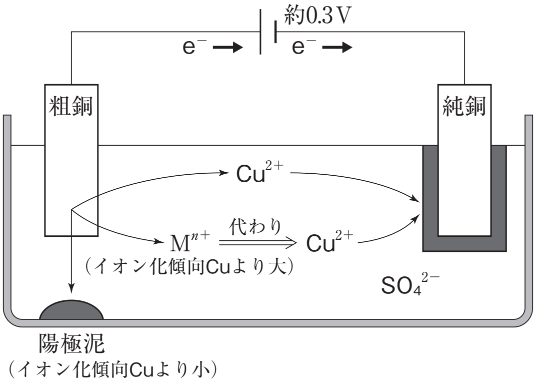
粗銅を陽極に，純銅を陰極に硫酸銅水溶液を電気分解する。

(＋)$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

不純物

- イオン化傾向がCuより大→陽イオンとして溶け出す。
  ただし，PbはPbSO$_4$として沈殿する。
- イオン化傾向がCuより小→陽極泥として陽極の下に沈殿する。

(－)$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$



③軽金属の製法

水溶液を電気分解しても，軽金属の単体は得られないため，融解液を電気分解する。

例：アルミニウムの製法

両極に炭素電極を用いて，酸化アルミニウムの融解液を電気分解する。酸化アルミニウムの融点は約2000℃と高いため，融点降下剤として氷晶石Na$_3$[AlF$_6$]を用いて融解させる。

(＋)$C + 2O^{2-} \longrightarrow CO_2 + 4e^-$

$C + O^{2-} \longrightarrow CO + 2e^-$

(－)$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$

⇒陽極で酸素が発生しないことに注意しよう。

☆各極の反応式が書ければ，計算問題も正誤問題等もきちんと正解できる。各極の反応式がすらすら書けるように練習しよう。

第25講　演習問題

1　銀を含む粗銅100gを陽極とし，純粋な銅板を陰極として，硫酸銅水溶液を0.10Aで100時間電気分解した。その結果，粗銅の質量は88gに減少した。粗銅に含まれる銀の質量パーセントはいくらか。(原子量　Cu:63.5　ファラデー定数96500C/mol)

2　銅の電解精錬の過程を実験室で再現するために，希硫酸に硫酸銅(Ⅱ)を溶かした溶液1000mLを電解槽に入れ，不純物を含んだ銅(粗銅)を陽極に，純粋な銅(純銅)を陰極にして電気分解を行った。このことに関して，次の問い(ａ・ｂ)に答えよ。銅の原子量は63.5とする。

a　粗銅の電極には，不純物として，おもに亜鉛，金，銀，鉄，ニッケルが含まれている。この不純物の金属には，電気分解後，陽極泥に含まれるものと，水溶液中にイオンとして存在するものとがある。陽極泥に含まれる金属はどれか。次の①～⑦のうちから最も適当なものを一つ選べ。

①　亜鉛，鉄　②　亜鉛，鉄，ニッケル　③　銀，ニッケル　④　金，ニッケル
⑤　金，鉄　⑥　金，銀　⑦　金，銀，鉄

b　直流電流を通じて電気分解したところ，粗銅は67.14g減少し，一方，純銅は66.50g増加した。また，陽極泥の質量は0.34gで，溶液中の銅イオンの濃度は0.0400mol/Lだけ減少した。この電気分解で水溶液中に溶け出した不純物の金属の質量は何gか。次の①～⑨のうちから最も適当な数値を一つ選べ。ただし，この電気分解により溶液の体積は変化しないものとし，また，不純物としては金属だけが含まれているものとする。

［　　］g

①　0.30　②　0.34　③　0.64　④　1.27　⑤　2.20
⑥　2.54　⑦　2.84　⑧　3.18　⑨　3.52

3　陽極に炭素，陰極に鉄を用いて塩化ナトリウムの融解塩電解を行った。陽極から発生した気体が0℃，1.013×10^5 Paで1.12 Lあった時，陰極で起こる変化として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。（Naの原子量：23）

①　ナトリウムが1.15 g析出　　②　ナトリウムが2.30 g析出

③　ナトリウムが4.60 g析出　　④　水素が0.56 L発生

⑤　水素が1.12 L発生　　⑥　水素が2.24 L発生

4　酸化アルミニウムに氷晶石を加えて融解し，両極に炭素を用いて電気分解を行った。8.7×10^5クーロンの電気量が流れた時，陽極・陰極の変化の組合せとして最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，Alの原子量は27，ファラデー定数は96500〔C/mol〕とする。

	陽極	陰極
①	O_2発生	Alが27 g析出
②	O_2発生	Alが81 g析出
③	O_2発生	H_2が67 L発生
④	CO，CO_2発生	Alが27 g析出
⑤	CO，CO_2発生	Alが81 g析出
⑥	CO，CO_2発生	H_2が67 L発生

第25講　確認テスト

1　銅の電解精錬について正しいのはどれか。

Ａ：両極を硫酸銅(Ⅱ)水溶液中に浸して行う。

Ｂ：粗銅中のAgやAuなどは陰極板表面に析出する。

Ｃ：粗銅中のCuは一旦イオンとなったのち陽極板表面に析出する。

Ｄ：粗銅中のNiやZnはイオンとなって溶液中に溶け出す。

Ｅ：純粋なCuが粗銅板の下に沈殿する。

ア　ＡとＢ　　イ　ＡとＤ　　ウ　ＢとＣ　　エ　ＣとＥ　　オ　ＤとＥ

演習問題解答

第１講　演習問題

1　②

2　③

3　枝つきフラスコの液量を減らす。
温度計の先端を枝つきフラスコの分枝部の付近にする。
水は冷却器の下から入れて上から出す。
三角フラスコにゴム栓はしない。（脱脂綿やアルミ箔で軽く覆う）

4　②

第２講　演習問題

1　③

2　⑤

3　③

4　約17190年前

第３講　演習問題

1　①　K^2L^5　②　$K^2L^8M^6$　③　$K^2L^8M^8N^1$　④　$K^2L^8M^{14}N^2$
　⑤　$K^2L^8M^{13}N^1$　⑥　$K^2L^8M^{18}N^7$

2　①　 　原子価：3　②　 　原子価：4　③　 　原子価：1

3　①　$K^2L^8M^8$　②　$K^2L^8M^8$　③　$K^2L^8M^{13}$

4　①　大きい　②　小さい　③　小さい　④　大きい

第４講　演習問題

1　⑤

2　ア：b　イ：a　ウ：e　エ：d　オ：c

第５講　演習問題

1　(1)　③

　(2)　⑥

2　A：(ウ)　B：(オ)　C：(イ)　D：(ア)

第６講　演習問題

1　⑤

2　(1)　3.2g

(2)　3.8×10^{-23}g

(3)　0.25mol

(4)　0.83g

(5)　0.40mol

3　(1)　$\frac{N}{2}$

(2)　$2N$

(3)　$10N$

第７講　演習問題

1　(1)　8.0g/cm^3

(2)　1.3×10^{-8}cm

第８講　演習問題

1　19g/cm^3

第９講　演習問題

1　(1)　1.5×10^{-8}cm

(2)　35

2　(1)　４個

(2)　2.1g/cm^3

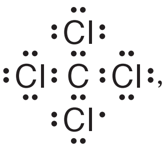
(3)　①　3.1×10^{-8}cm　　②　5.3×10^{-8}cm

第10講　演習問題

1　(1)　1.5×10^{-8}cm

(2)　3.5g/cm^3

第11講　演習問題

1　(1) ，正四面体

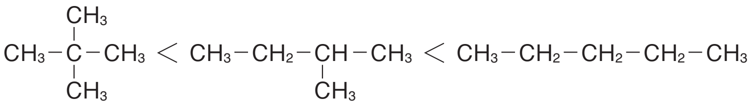
(2) ，折れ線

(3) ，折れ線

(4) ，直線

第12講　演習問題

1　(1)　$F_2 < Cl_2 < Br_2 < I_2$

(2)　

(3)　$HCl < HBr < HI < HF$

2　問１　6

問２　ネオン

問３　電気陰性度

問４　CO_2，CH_4

問５　水素結合

第13講　演習問題

1
(1) 20%
(2) 0.40 mol/L
(3) 0.50 mol/kg
(4) 3.0×10^{-3} mol
(5) 0.60 mol
(6) 0.17 mol

2
(1) 18 mol/L
(2) 0.91 mol/kg

3 ②

4
(1) ②
(2) ④
(3) ③

第14講　演習問題

1　④

2　(B), (C), (A)

3　(1)　0.01

(2)　12

第15講　演習問題

1　(1)　0.20 mol/L

　　(2)　19 mL

2　70 %

3　②

4　③

5　④

6　b

第16講　演習問題

1　塩化アンモニウムは次のように水中で電離し，アンモニウムイオンを生じている。

$NH_4Cl \longrightarrow NH_4^+ + Cl^-$

アンモニウムイオンが次のように加水分解反応を起こしオキソニウムイオンを生じるため酸性を示す。

$NH_4^+ + H_2O \rightleftarrows NH_3 + H_3O^+$

2　②

3　(5)

4　39.2 g

第17講　演習問題

1　⑥

2　⑤

3　1.5×10^{-2} mol

4　0.036%

第18講　演習問題

1　0.080 mol/L

2　NaOH　1.20 g　Na_2CO_3　1.06 g

3　問１　エ

問２　実験1　ウ　　実験3　イ

問３　アンモニアは水中で次のように電離し，アンモニウムイオンと水酸化物イオンを生じるため。

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$

問４　0.360 mol/L

問５　0.486 mol/L

問６　1)　(a)　ホールピペット　　(b)　メスフラスコ

2)　6.75mL

第19講　演習問題

1　(1)　−4　(2)　+5　(3)　−1　(4)　+6　(5)　+7　(6)　+3

2　②

3　③

4　3つ

第20講　演習問題

1 (1) $2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 2MnSO_4 + 5O_2 + 8H_2O + K_2SO_4$

(2) $2H_2S + SO_2 \longrightarrow 3S + 2H_2O$

(3) $2KI + H_2O_2 \longrightarrow 2KOH + I_2$

2 過マンガン酸カリウム水溶液の体積：16mL

終点で見られる変化：滴下した過マンガン酸カリウム水溶液の赤紫色が消えずに残る。

3 0.0500 mol/L

第21講　演習問題

1　965 C

2　2.4 A

第22講　演習問題

1　9650 C

2　②

3　25%

4　96500 C

第23講　演習問題

1　(1)　陽極　$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極　$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

(2)　陽極　$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

陰極　$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

(3)　陽極　$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$

陰極　$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

(4)　陽極　$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

陰極　$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

2　(1)　陽極　$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

陰極　$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

(2)　0.224 L

(3)　20 mL

第24講　演習問題

1　67.2 mL

2　(1)　電極A　H_2　電極B　Cl_2

(2)　0.050 mol

3　0.030 mol

4　a　32分　b　13.0

第25講　演習問題

1　1.3%

2　a　⑥　　b　⑦

3　②

4　⑤

確認テスト解答

第１講　確認テスト

1　①

【解説】

②蒸留や分留である。

③ろ過である。

④再結晶である。

⑤昇華である。

第２講　確認テスト

1　(d)・(e)

【解説】

(a)　正に帯電している陽子と負に帯電している電子が同じ数存在するため，原子は電気的に中性である。

(b)　原子の大きさは約10^{-8}cm，原子核の大きさは約$10^{-12\sim-13}$cmである。

(c)　原子の質量は原子核の質量とほぼ等しいため，陽子と中性子の質量の和にほぼ等しい。

第３講　確認テスト

1　⑤

【解説】

①　ナトリウムの電子配置は$K^2L^8M^1$である。

②　マグネシウムの電子配置は$K^2L^8M^2$である。

③　リチウムイオンの電子配置はK^2であり，ヘリウムと同じ電子配置である。

④　カルシウムイオンの電子配置は$K^2L^8M^8$であり，アルゴンと同じ電子配置である。

⑤　フッ素は17族であるため，価電子は7個である。

⑥　ケイ素は14族であるため，価電子は4個である。

第４講　確認テスト

1　(1)　(ウ)　　(2)　(オ)　　(3)　(エ)

【解説】

(2)　イオン化エネルギーは1族で最も小さく，18族で最も大きい。

(3)　周期表の右上にある元素ほどイオン化エネルギーが大きく，陽イオンになりにくいため，ヘリウムが解答となる。

第５講　確認テスト

1　②

【解説】

①　塩素Cl(非金属同士)の結合なので，共有結合である。

②　窒素Nと水素H(非金属同士)の結合なので，共有結合である。

③　銅Cu(金属原子)の結合なので，金属結合である。

④　ナトリウムNaと塩素Cl(金属と非金属)の結合なのでイオン結合である。

⑤　炭素Cと酸素O(非金属同士)の結合は共有結合〈炭酸イオン〉。そしてカルシウムCa(金属)との間にイオン結合ができる。

第６講　確認テスト

1　③

【解説】

1.0カラットは0.2gであり，炭素Cの原子量は12であるため，

$$\frac{0.2}{12}=0.0166\cdots\text{mol}$$

第７講　確認テスト

1　(1)　(エ)　(2)　(エ)　(3)　(イ)　(4)　(オ)　(5)　(イ)

【解説】

(4)　単位格子の一辺の長さをaとすると，$r=\frac{\sqrt{3}}{4}a$となるため

$$r=\frac{1.73}{4}\times 4.29\times 10^{-8}$$

$$=\underline{1.85\cdots\times 10^{-8}\mathrm{cm}}$$

(5)　$\dfrac{\dfrac{23}{6.0\times 10^{23}}\times 2}{(4.29\times 10^{-8})^3}=\underline{0.970\cdots\mathrm{g/cm^3}}$

第８講　確認テスト

1　問１　面心立方格子　　問２　d　　問３　c

【解説】

問３　単位格子の体積を V cm³とすると，

$$\frac{\frac{63}{6.0\times10^{23}}\times4}{V}=9.0 \qquad V=4.7\times10^{-23}\text{cm}^3=\underline{4.7\times10^{-29}\text{m}^3}$$

よって表より，一辺の長さは $\underline{3.6\times10^{-10}\text{ m}}$

第９講　確認テスト

1　A　(ロ)　B　(ロ)　C　(ハ)

【解説】

C　頂点の塩化物イオンCl^-に注目すると，隣接するナトリウムイオンNa^+は３つかかれている。塩化ナトリウムNaCl型の配位数は６であるため，残り３つである。

第10講　確認テスト

1　(a)　共有　　(b)　ダイヤモンド　　(c)　8　　(d)　(イ)

【解説】

(d)　密度 $y=\dfrac{\dfrac{M}{N_A}\times 8}{x^3}$ より　$M=\dfrac{x^3 y N_A}{8}$

第11講　確認テスト

1	1	②	2	①	3	④	4	⑧								
	5	④														
	6	④	7	②	8	④	9	③	10	ⓑ	11	②	12	④	13	①
	14	④	15	①	16	⑤	17	③								

第12講　確認テスト

[1]　1　a　　2　i：フッ化水素　ii：水素　　3　①　a　②　a　③　a

第13講　確認テスト

1　③

【解説】

濃塩酸の体積をVmLとする。濃塩酸に含まれる塩化水素HClと希釈後の塩酸に含まれているHClの物質量は等しいため,

$$1.18\times V\times\frac{36}{100}\times\frac{1}{36.5}=0.5\times\frac{250}{1000}\qquad \underline{V=10.7\,\text{mL}}$$

2　③

【解説】

	$3O_2$	→	$2O_3$	
㊞前	200mL		0	
㊞量	$-200\times\frac{9}{100}=18$mL		＋12mL	
㊞後	182mL		12mL	計 194mL

別解：減少量に注目すると,

$$200\times\frac{9}{100}\times\frac{1}{3}=6\,\text{mL}$$

なので，200－6＝194mL

第14講　確認テスト

1　④

【解説】

pH1.0がpH3.0に変化したことから，水素イオンのモル濃度が２桁小さくなったことがわかる。すなわち$\frac{1}{100}$倍である。

濃度が$\frac{1}{100}$倍になったことから，体積が100倍になったことがわかるため，

$$10 \times 100 = \underline{1000\,\mathrm{mL}}$$

第15講　確認テスト

1　③

【解説】

塩酸（濃度をx mol/Lとする）と水酸化ナトリウム水溶液を混合した後のpH＝2.0（強酸性）であったことから，塩酸が過剰で余っていることがわかる。
以上より水素イオンのモル濃度を式にすると次のようになる。

$$[\mathrm{H^+}]=\frac{x\times\frac{500}{1000}\times 1-0.01\times\frac{500}{1000}\times 1\,\mathrm{mol}}{1\quad\mathrm{L}}=\quad 1.0\times 10^{-2}\quad \mathrm{mol/L}$$

これより，$x=0.030$ mol/L

2　5

【解説】

KOH 強塩基，H_2SO_4 強酸，CH_3COOH 弱酸，NaCl 中性の塩，CH_3COONa 塩基性の塩であり，pHの大きい順であるため，強塩基性から強酸性に向けて並べると解答となる。

第16講　確認テスト

1　問１　3.15g

問２　2：メスフラスコ・イ　　3：ホールピペット・エ　　4：ビュレット・エ

【解説】

問１　　必要なシュウ酸二水和物(分子量126)をx gとすると,

$$\frac{x}{126} = 0.100 \times \frac{250}{1000} \qquad \underline{x = 3.15 \text{ g}}$$

第17講　確認テスト

1　エ

【解説】

水酸化ナトリウムは強塩基，酢酸は弱酸なので，中和点は塩基性となる。
よって，指示薬は塩基性に変色域を持つフェノールフタレインが適切である。
また，希釈前の食酢中の濃度を x mol/L とすると，20倍に希釈後は $\frac{x}{20}$ mol/L となる。
中和点での量的関係より，

$$\frac{x}{20} \times 5.00 \times 1 = 0.100 \times 1.75 \times 1 \qquad x = 0.700 \text{ mol/L}$$

となり，これを質量パーセント濃度に変えると次のようになる。

$$\frac{0.700 \times 60}{1000 \times 1.0} \times 100 = \underline{4.20\ \%}$$

第18講　確認テスト

1　0.53g

【解説】

100mLに含まれる炭酸ナトリウムの質量を x gとすると，実験に利用したのは20mLなので $\frac{x}{5}$ gであり，これと反応した塩酸は5.0mL分である(二段目の滴下量と一致)ため，次の式が成立する。

$$\frac{\frac{x}{5}}{106} = 0.20 \times \frac{5.0}{1000} \qquad \underline{x = 0.53\ \mathrm{g}}$$

第19講　確認テスト

1　ウ

【解説】

それぞれの酸化数を記しておく。

A：0　B：＋1　C：－1　D：－1　E：－2

第20講　確認テスト

1　イ

【解説】

与えられた半反応式から，過マンガン酸カリウムは5価の酸化剤，硫酸鉄(Ⅱ)は1価の還元剤であることがわかる。硫酸鉄(Ⅱ)の濃度をx mol/Lとすると，

$$x \times 5.00 \times 1 = 0.020 \times 7.50 \times 5 \qquad \underline{x = 0.15\ \text{mol/L}}$$

第21講　確認テスト

1　オ

【解説】

a　活物質とは反応する物質のこと。

　正極で反応するのは銅イオンであるため，間違い。

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$$

b　電流は正極から負極に流れるため，正しい。

c　電気的中性を保つために必要なイオンが移動するが，素焼き板が選択的にイオンを通過させているわけではないため，誤り。

d　負極の変化は次のようになる。

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

よって，Znのmol＝e^-のmol×$\frac{1}{2}$が成立する。

溶解するZnをx gとすると

$$\frac{x}{65} = \frac{2.0 \times (16 \times 60 + 5)}{96500} \times \frac{1}{2}$$

$\underline{x = 0.65\text{g}}$　よって誤り。

第22講　確認テスト

1　ウ

【解説】

流れた電子の物質量は

$$\frac{1.93\times10^4}{9.65\times10^4}=0.20\ \mathrm{mol}$$

鉛蓄電池が放電するときの反応式は次のようになり，このとき電子2molが流れている。

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$$

これより，流れた電子と同じ物質量の硫酸(分子量98)が反応により減少し，流れた電子と同じ物質量の水(分子量18)が反応によって生じることがわかる。

H_2SO_4の変化

放電前：$300\times\dfrac{30.0}{100}=90\mathrm{g}$　ここから0.2mol減少

放電後：$90-0.2\times98=70.4\mathrm{g}$

H_2Oの変化

放電前：$300-90=210\mathrm{g}$　ここから0.2mol増加

放電後：$210+0.2\times18=213.6\mathrm{g}$

以上より放電後濃度は

$$\frac{70.4}{70.4+213.6}\times100=\underline{24.78\%}$$

第23講　確認テスト

1　(9)

【解説】

各電極で起こる反応を以下に記す。

(a)陽極：$2I^- \longrightarrow I_2 + 2e^-$

陰極：$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

(b)陽極：$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

陰極：$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$

(c)陽極：$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$

陰極：$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

(d)陽極：$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極：$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

第24講　確認テスト

1　問(1)　(ウ)　問(2)　a　(イ)　b　(ア)　c　(エ)　問(3)　(エ)　問(4)　(オ)　問(5)　(ア)

【解説】

各極の反応式は次のようになる。

電極A：$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

電極B：$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

電極C：$2I^- \longrightarrow I_2 + 2e^-$

電極D：$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

問(3)　e^-mol＝H_2mol×2　が成立するため，
電気量をxクーロンとすると，

$$\frac{x}{96500} = \times \frac{1.12}{22.4} \times 2 \qquad x = \underline{9650\,\mathrm{C}}$$

問(4)　流れた電流をyアンペアとすると，問３の結果を用いて

$$y \times (32 \times 60 + 10) = 9650 \qquad \underline{y = 5.0\,\mathrm{A}}$$

問(5)　Cuがz g析出したとする。

Cu mol = e^- mol ×$\frac{1}{2}$ が成立するため，

$$\frac{z}{63.5} = \frac{9650}{96500} \times \frac{1}{2} \qquad z = \underline{3.175\,\mathrm{g}}$$

第25講　確認テスト

1　イ

【解説】

B：AgやAuはイオン化傾向がCuより小さいため，陽極の下に陽極泥として析出する。

C：Cuが析出するのは陰極である。

E：純粋なCuは陰極の純銅板上に析出する。

はじめに

みなさん，こんにちは。

この講座では，化学の理論化学の分野を扱っています。
学校の化学の授業と併用して活用してみてください。

化学が得意な人は，学校の予習の段階で。
化学初心者は学校の授業の復習の段階で使用するといいでしょう。

最初は苦しいかもしれませんが，一つずつ，ゆっくり，確実にこなしていけば，
進むにつれ，理解するスピードもアップしていきます。
最終的に化学を好きになって，化学を得点源にしていきましょう。

応援しています。

坂田　薫

目次

第６章　気体

第26講　気体(気体の基本事項・状態方程式と計算) ―― p.4
第27講　気体(気体の計算方法) ―― p.8
第28講　気体(混合気体) ―― p.12
第29講　理想気体と実在気体 ―― p.16
第30講　物質の三態と状態変化 ―― p.22
第31講　飽和蒸気圧 ―― p.26

第７章　溶液

第32講　固体の溶解度 ―― p.30
第33講　気体の溶解度 ―― p.34
第34講　希薄溶液の性質(蒸気圧降下・沸点上昇・凝固点降下) ―― p.38
第35講　希薄溶液の性質(浸透圧) ―― p.42

第８章　熱化学

第36講　熱化学(熱化学方程式・反応熱の定義・熱量計算) ―― p.46
第37講　熱化学(反応熱計算) ―― p.52

第９章　反応速度と平衡

第38講　反応速度 ―― p.56
第39講　化学平衡(平衡とは・平衡定数) ―― p.60
第40講　化学平衡(ルシャトリエの原理) ―― p.64
第41講　溶解度積 ―― p.68
第42講　電離平衡・緩衝溶液・塩の加水分解平衡 ―― p.72

第６章　気体

第26講　気体(気体の基本事項・状態方程式と計算)

1　気体

気体に関する法則は，1600年代のボイルの法則，1700年代のシャルルの法則，そして1800年代の状態方程式というように，歴史的背景から学びがちである。もちろん歴史は大切である。しかし，気体の計算をマスターするために本当に必要なのは，気体とは何なのか，気体の体積・圧力とは何なのかを理解し，自分で状態方程式を説明できるようになることであろう。

⑴　気体

気体は分子の熱運動が激しく，分子間距離が大きいため，ファンデルワールス力をはじめとする分子間力がほぼ0である。それにより分子は自由に運動し，空間に分散していくため，体積は一定ではなく，空間全体に対する分子の大きさは無視できる状態である。

・気体の体積V(Volume)	：気体が動き回れる空間の広さ。
・気体の圧力P(Pressure)	：気体が容器に衝突する力を単位面積あたりで表したもの。 1.013×10^5 Pa＝760 mmHg＝1 atm
・気体の温度T(Temperature)	：空間の温度であるが熱運動の激しさを表すともいえる。 セルシウス温度[℃]ではなく，絶対温度[K]で表す。

⑵　気体の状態方程式

理想気体は，分子間力と分子の体積(大きさ)を無視しているため，次の式が成立する。

$$PV = nRT$$

n：物質量mol，R：気体定数 8.31×10^3 Pa・L/(mol・K)

これが状態方程式である。

また，物質量 $n = \dfrac{\text{質量}\,w}{\text{分子量}\,M}$ が成立するため，上記の式は次のように変形できる。

$$PV = \frac{w}{M}RT$$

よって密度を d (g/L) とすると，

$$M = \frac{w}{V} \cdot \frac{RT}{P} = d \cdot \frac{RT}{P}$$

となる。

以上より，

- 気体の状態方程式から分子量を求めることができる
- PT 一定のもとでは，気体の分子量は密度に比例する

ことがわかる。

第26講　演習問題

1　次の圧力を【　】内の単位に変換しなさい。ただし，1.0×10^5 Pa＝760mmHgとする。

(1)　380mmHg【Pa】　(2)　1.5×10^5 Pa【mmHg】

2　次の各問いに有効数字2桁で答えよ。ただし，気体定数は8.3×10^3（Pa·L/(mol·K)），原子量はN：14，1.0×10^5 Pa＝760mmHgとする。

(1)　27℃，1.0×10^5Paで1.0molの窒素の体積は何Lか。

(2)　0℃，750mmHgで3.0Lの窒素の物質量は何molか。

(3)　27℃，1.0×10^5Paで密度1.79g/Lの気体の分子量はいくらか。

(4)　気体0.60gが127℃，760mmHgで100mLのとき，モル質量はいくらか。

第26講　確認テスト

1　27℃，1.5×10^5 Paで8.3Lの気体の質量が16gであった。この気体の分子量はいくらか。最も近い値を，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。ただし，気体は理想気体として扱えるものとし，気体定数$R=8.3\times10^3$ Pa･L/(mol･K)とする。

(ア)　12　　(イ)　16　　(ウ)　20　　(エ)　24　　(オ)　28　　(カ)　32

第27講　気体（気体の計算方法）

1　気体（第26講のつづき）

(3)　気体の計算

①変化がない場合

何も変化が起こっていない場合，または比較する対象がない場合は状態方程式に数値を代入して，知りたいものを導くしかない。

②物理的変化がある場合

気体の置かれた環境に変化がある場合，すなわち物理的変化がある場合には，変わらないものに注目して立式していく。また，環境の異なる気体どうしを比較するときにも有効である。

〈参考〉：nとTが一定の場合→$P \propto V^{-1}$（ボイルの法則）
nとPが一定の場合→$V \propto T$（シャルルの法則）
PとTが一定の場合→一定体積中に含まれる気体の粒子数nは，気体の種類によらず一定。
すなわち$V \propto n$（アボガドロの法則）

③化学的変化がある場合

気体が化学変化を起こした場合には，化学反応式を書き，反応前，変化量，反応後がわかる表をつくっていく。

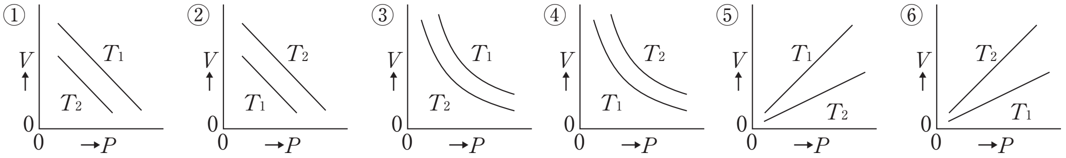
第27講　演習問題

1　次の各問いに有効数字2桁で答えよ。ただし，気体定数は8.3×10^3(Pa·L/mol·K)，原子量はN：14とする。

(1)　0℃，1.0×10^5Paで180mLの窒素は，27℃，1.0×10^5Paでは何mLか。

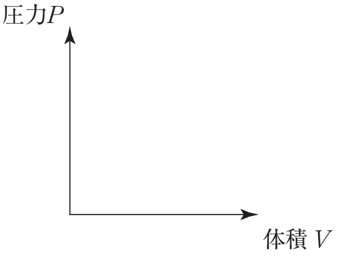
(2)　1.0Lの容器に27℃，1.0×10^5Paで窒素を封入した。327℃では何Paになるか。

2　一定質量の理想気体の温度をT_1[K]またはT_2[K]に保ったまま，圧力Pを変える。このときの気体の体積V[L]と圧力P[Pa]の関係を表すグラフとして，最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，$T_1 > T_2$とする。

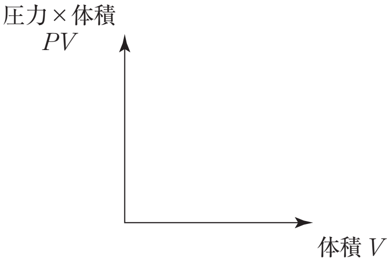


3　理想気体を密閉容器に入れ次のような操作をおこなった。このとき，それぞれのグラフの概略がどのようになるか，書き込みなさい。

(1)　圧力を一定にして温度を下げた後，温度を一定にして体積を増加させた。



(2)　温度を一定にして圧力と体積を変化させる。



第27講　確認テスト

1　理想気体に関する次の問いに答えよ。

問１　図1の曲線は，ボイルの法則に従って，それぞれ異なる一定の絶対温度T_1，T_2，T_3における圧力Pと体積Vの関係を表している。温度の大小を表す不等号として最も適切なものを次の(a)～(f)の中から1つ選び，その記号を書け。

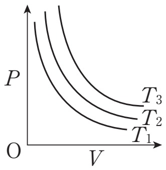


図１

(a)　$T_1>T_2>T_3$　(b)　$T_2>T_3>T_1$　(c)　$T_3>T_1>T_2$

(d)　$T_3>T_2>T_1$　(e)　$T_1>T_3>T_2$　(f)　$T_2>T_1>T_3$

問２　図2の直線は，ボイルの法則に従って，それぞれ異なる一定の絶対温度T_1，T_2，T_3における圧力Pと体積Vの逆数$\frac{1}{V}$の関係を表している。温度の大小を表す不等号として最も適切なものを次の(a)～(f)の中から1つ選び，その記号を書け。

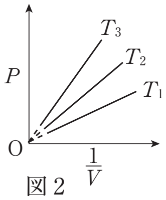


図２

(a)　$T_1>T_2>T_3$　(b)　$T_2>T_3>T_1$　(c)　$T_3>T_1>T_2$

(d)　$T_3>T_2>T_1$　(e)　$T_1>T_3>T_2$　(f)　$T_2>T_1>T_3$

問３　図3の直線は，シャルルの法則に従って，それぞれ異なる一定の圧力P_1，P_2，P_3における体積Vと絶対温度Tの関係を表している。圧力の大小を表す不等号として最も適切なものを次の(a)～(f)の中から1つ選び，その記号を書け。

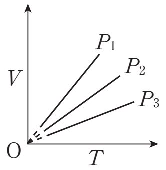


図３

(a)　$P_1>P_2>P_3$　(b)　$P_2>P_3>P_1$　(c)　$P_3>P_1>P_2$

(d)　$P_3>P_2>P_1$　(e)　$P_1>P_3>P_2$　(f)　$P_2>P_1>P_3$

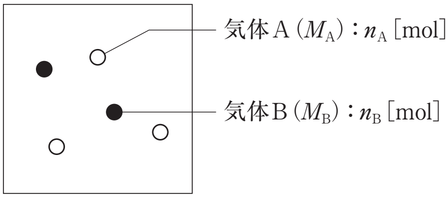
＜Note＞

第28講　気体(混合気体)

2　混合気体

一番身近な気体である空気は，主に窒素や酸素からなる混合気体である。このような混合気体をとらえていくときには，構成している気体ごと(空気なら窒素と酸素)に分けて考えていく。このとき，何に注目して気体を分けていくのかが鍵となる。

(1)　平均分子量

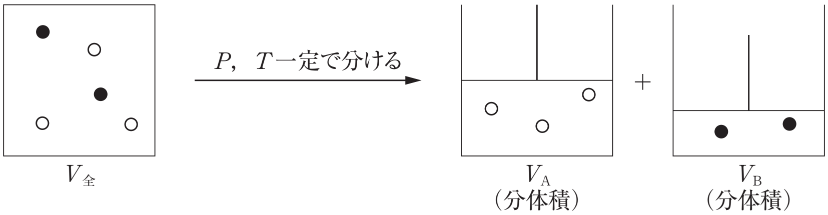


混合気体の場合，分子量は平均分子量で表す。

$$\overline{M} = M_A \times \frac{n_A}{n_A + n_B} + M_B \times \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

(2)　扱いかた

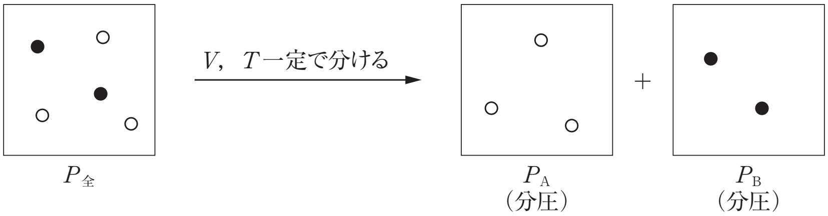
①体積を分ける(分体積)



$V_{全} = V_A + V_B$

$V_A : V_B = 3 : 2$

②圧力を分ける(分圧)



$P_{全} = P_A + P_B$

$P_A : P_B = 3 : 2$

第28講　演習問題

1　空気は，窒素と酸素が体積比で4：1からなる混合気体である。空気の平均分子量を求めよ。ただし，原子量はN：14，O：16とする。

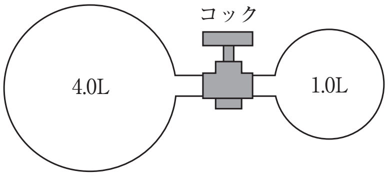
2　窒素（分子量28）と二酸化炭素（分子量44）の混合気体Aがある。Aの密度は，同温同圧において酸素（分子量32）の1.2倍であった。Aに含まれている二酸化炭素の体積百分率を求めよ。

3　0℃，1.0×10^5Paのもとで，100mLのメタンCH_4を400mLの酸素を用いて完全燃焼させた。燃焼後，容器中に存在する気体の化学式と体積mLをそれぞれ答えよ。ただし，水は全て液体とする。

4　温度一定のもとで，2.0×10^5Paの酸素2.0Lと3.0×10^5Paのアルゴン1.0Lを4.0Lの容器に入れた。このとき，酸素の分圧と容器の全圧を有効数字2桁で求めよ。

第28講　確認テスト

1　図のように，容積4.0Lの容器Aには1.0×10^5Paのヘリウムが，容積1.0Lの容器Bには5.0×10^5Paのアルゴンが入っている。コックを開いて二つの気体を混合したときの混合気体の全圧は何Paか。最も適当な数値を，下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，コック部の容積は無視する。また，容器A，Bに入っている気体の温度は同じであり，混合の前後で変わらないものとする。[　　]Pa



① 1.0×10^5　② 1.2×10^5　③ 1.8×10^5
④ 3.0×10^5　⑤ 4.2×10^5　⑥ 6.0×10^5

<Note>

第29講　理想気体と実在気体

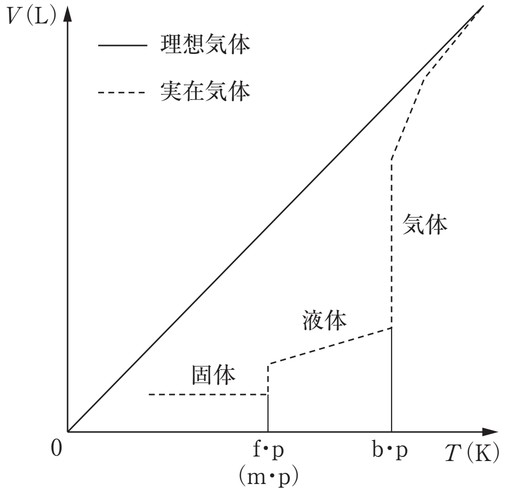
3　理想気体と実在気体

計算問題で扱う気体(理想気体)と，空気のように実在している気体(実在気体)は，何が違うのだろうか。また，実在気体を理想気体に近づけるには，どのような条件が必要になるのだろうか。

(1)　理想気体と実在気体の違い

通常，計算問題で扱う気体(理想気体)には，状態方程式 $PV = nRT$ が成立すると考える。それは第26講1で述べたように，分子間力と分子の体積(大きさ)が無視できる状態だからである。しかし，実在している気体(実在気体)には，分子間力と分子の体積(大きさ)が存在し，冷却すると凝縮や凝固により液体や固体に変化していく。

	理想気体	実在気体
分子間力	**なし**	**あり**
分子の体積(大きさ)	**なし**	**あり**
状態方程式 $PV = nRT$	厳密に成立する	成立しない
状態変化	なし	あり



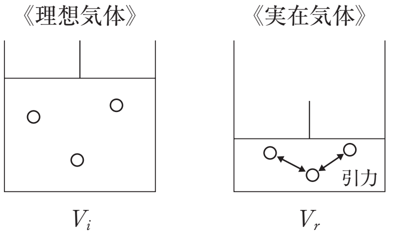
(2) 実在気体にあらわれるズレ

理想気体と実在気体のズレは1molあたりの $Z=\dfrac{PV}{RT}$ とPの関係で表していく。

理想気体のZは1。

①分子間力の影響

分子間力がはたらくことにより，PT一定下では，実在気体のVは理想気体のVに比べ小さい。よってZの値は1より小さくなる。

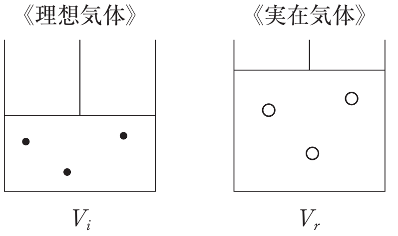


$V_i > V_r$ より

$$\frac{PV_i}{RT} > \frac{PV_r}{RT}$$

②分子の体積(大きさ)の影響

分子自身に体積(大きさ)があることにより，PT一定下では，実在気体のVは理想気体のVに比べ大きい。よってZの値は1より大きくなる。



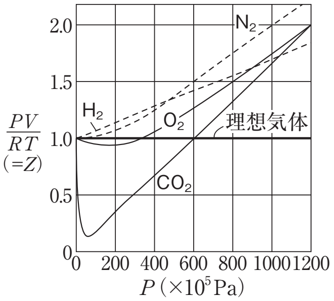
$V_i < V_r$ より

$$\frac{PV_i}{RT} < \frac{PV_r}{RT}$$

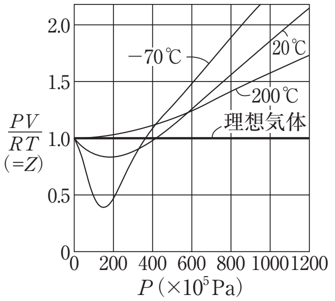
実在気体は，上述の①と②の影響により，理想気体のZからズレる。

・①の影響が②の影響を上回るとき
　→Zは1より小さくなる。すなわちグラフは理想気体のものより下にズレる。

・②の影響が①の影響を上回るとき
　→Zは1より大きくなる。すなわちグラフは理想気体のものより上にズレる。



＊Tはすべて一定



CH_4

(3)　実在気体を理想気体に近づける条件

実在気体を理想気体に近づけるには，分子間力と分子の体積(大きさ)の影響を小さくするとよい。

①高温

高温下では，気体分子の熱運動が激しいため，分子間力の影響が小さくなる。

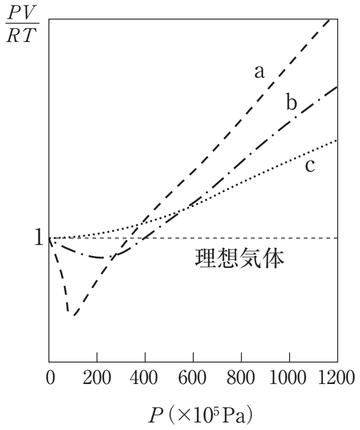
②低圧

低圧下では，空間に存在する気体分子の数が少ない。よって気体の体積に対し，分子の体積は無視できるほど小さくなり，分子の体積(大きさ)の影響が小さくなる。

また，分子間の距離も大きいため，分子間力の影響も小さくなる。

第29講　演習問題

1　図は，3つの異なる温度a，bおよびcにおいてメタン1molの$\dfrac{PV}{RT}$とPの関係を示したものである。ここでP，V，Tはそれぞれ気体の圧力〔Pa〕，1molあたりの体積〔L/mol〕，絶対温度〔K〕であり，Rは気体定数である。この図をもとにして問いに答えよ。



問1　a～cの中で最も温度が低いのはどれか，記号で記せ。

問2　温度aではあまり圧力の高くないところ，および高圧下それぞれで実在気体と理想気体のふるまいにズレが生じている。これは実在気体において働いているいくつかの効果が理想気体では無視されているためである。このズレの原因となっている実在気体の主な効果を，

(1)あまり圧力の高くないところ，

(2)高圧下

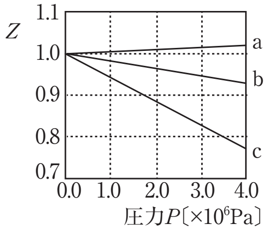
それぞれについて一つだけ次の中から選べ。

(イ)　分子の質量　　(ロ)　分子間の引力　　(ハ)　分子の占める体積

(ニ)　分子の運動の速さ　　(ホ)　分子どうしの衝突

第29講　確認テスト

1　図は，温度$T=300$Kのもとで，n〔mol〕の３種の実在気体a～cの$Z=\dfrac{PV}{nRT}$の値が，圧力Pとともに変化するようすを示したものである。(1)～(3)に答えなさい。



(1)　理想気体の変化のようすに最も近いものをa～cから一つ選びなさい。

(2)　圧力Pが4.0×10^6 Paのとき，体積Vが最も小さいものをa～cから一つ選びなさい。

(3)　a～cはH_2，CH_4，CO_2のいずれかである。(i)と(ii)に答えなさい。

　(i)　H_2はどれか。a～cから選びなさい。

　(ii)　CH_4はどれか。a～cから選びなさい。

＜Note＞

第30講　物質の三態と状態変化

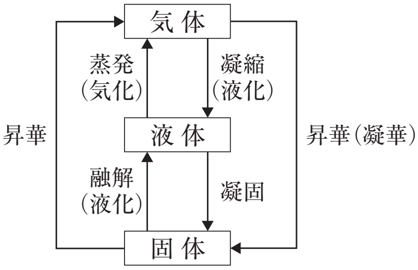
1　物質の三態

自然界の物質は，空気のような気体，海や川の水のような液体，そして岩石のような固体のいずれかの状態(物質の三態という)で存在している。その環境において，物質がどの状態にあるかは状態図を利用して判断していくとよい。

(1)　物質の状態を決める因子

物質を構成している粒子には，粒子間引力(→第５講)がはたらいている。そして粒子は温度に比例した熱運動エネルギーをもっている。この引力と熱運動の大小関係で物質の三態が決まる。

粒子間引力　≫　熱運動エネルギー　→　固体
粒子間引力　≪　熱運動エネルギー　→　気体
それ以外　→　液体



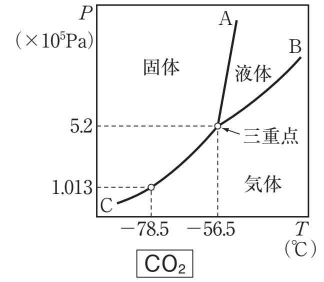
一般に，温度を上げると粒子の熱運動が激しくなり，固体は液体に，液体は気体になりやすい。また，圧力を上げると粒子間の距離が小さくなり，引力がはたらきやすくなるので気体は液体に，液体は固体になりやすい。

よって，物質の三態は温度と圧力で決まる。

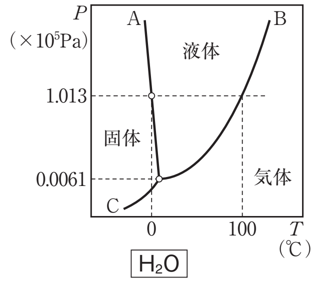
※注　水は圧力を加えると固体から液体へと変化していく。

(2) 状態図

(1)にあるように，物質の三態は温度と圧力で決まる。各物質をふた付き容器に入れた状態(閉鎖系)で，温度と圧力を変えたとき，どの状態で存在するかを表したものが状態図である。



CO_2

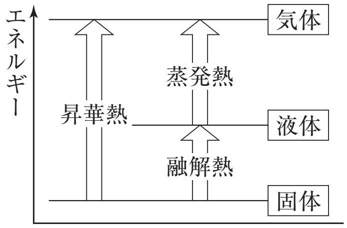


H_2O

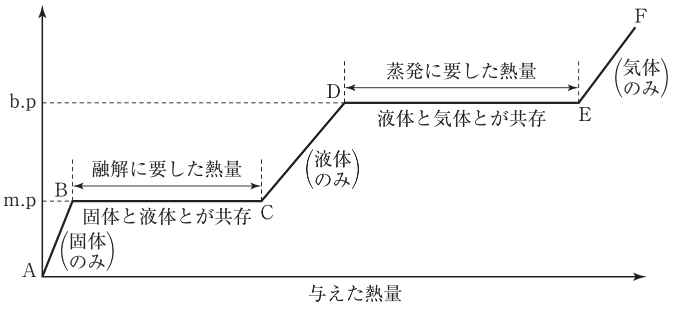
A：融解曲線
B：蒸気圧曲線
C：昇華圧曲線

(3) 状態変化と熱

状態変化には必ず熱の出入りがともなう。それは，固体・液体・気体それぞれが保有しているエネルギーが異なるためである。



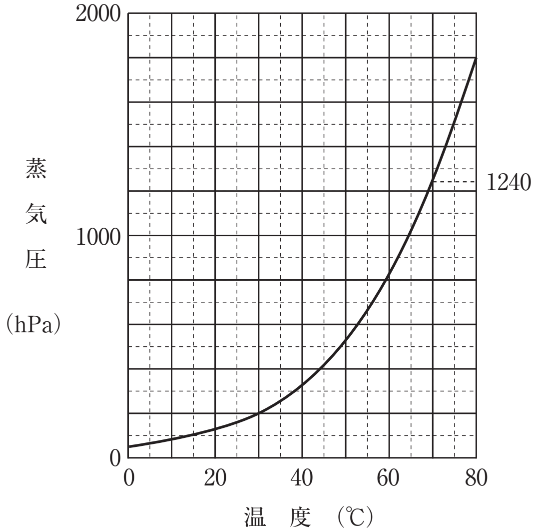
P一定で，物質(固体)を一定速度で加熱すると，次のような温度変化がみられる。



第30講　演習問題

1　圧力を1.013×10^5 Pa(1気圧)より高くすると，水の融点，沸点はそれぞれどうなるか。

2　図はメタノールの蒸気圧曲線である。これをもとに，次の各問いに答えよ。



(1)　メタノールの沸点が43℃になるのは，外圧が何hPaのときか。

(2)　ピストンがついた密閉容器にヘリウム0.80molとメタノール0.20molを入れて1000hPa，70℃に保った。

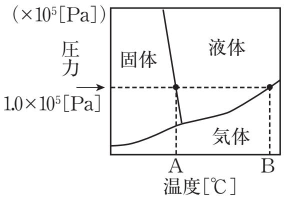
問1　このとき，混合気体の体積は何Lか。ただし気体定数は8.3×10^3(Pa·L/(mol·K))とする。

問2　この混合気体の圧力を一定に保ったまま，容器全体の温度を下げた。メタノールの液体が生じ始める温度は何℃か。

問3　この混合気体の温度を70℃に保ったまま，ピストンに圧力を加えた。メタノールの液体が生じ始める圧力は何hPaか。

第30講　確認テスト

1　次の図は，水の状態変化の特徴を強調して示したものである。



(1)　1.0×10^5〔Pa〕(＝1〔atm〕)の圧力下で横の破線に沿って温度を上昇させた場合，図中の点A，Bの温度はそれぞれ何と呼ばれるか，それらの名称を書け。

(2)　密閉容器に1.0×10^5〔Pa〕(＝1〔atm〕)の圧力下で水を入れて凍らせた。その後温度を0〔℃〕に保ちながら容器の圧力を下げていくと，容器内の氷はどのように変化するか。図を見て考察し，最も適当なものを次の①～④の中から１つ選びその番号で答えよ。

①　固体から液体になる

②　固体から液体を経て気体になる

③　固体から液体を経ずに気体になる

④　固体・液体・気体が混ざった状態になる

(3)　以下の現象のうち，1.0×10^5〔Pa〕(＝1〔atm〕)の圧力下において水では起こらない状態変化はどれか。正しいものを次の①～⑥の中からすべて選びその番号で答えよ。ただし，いずれも他の状態を経ないものとする。

①　気体→液体　　②　気体→固体　　③　液体→気体

④　液体→固体　　⑤　固体→気体　　⑥　固体→液体

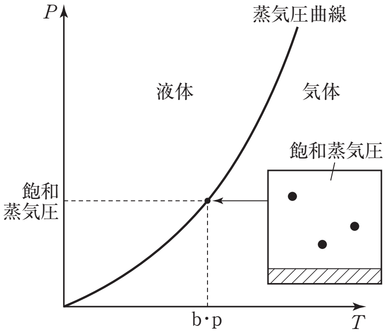
第31講　飽和蒸気圧

2　飽和蒸気圧

沸点の低い液体は簡単に気体(蒸気)になり，閉鎖系では気体と液体が共存しやすい。このときの気体と液体の間の平衡(気液平衡)をとらえていく。この状態変化を含む複雑な計算に対応していくためには，蒸気圧をマスターしなくてはならない。

(1)　飽和蒸気圧

蒸気の圧力の限界値を飽和蒸気圧という。
下図のように液体と蒸気が共存し平衡状態になっている場合，蒸気の圧力は，温度が変わらない限り一定値をとる。



A(液体) $\rightleftarrows$ A(気体)

平衡定数Kは

$$K=\frac{[\mathrm{A}(\text{気体})]}{[\mathrm{A}(\text{液体})]}$$

液体の濃度は一定とみなすことができるため，

$$K\cdot[\mathrm{A}(\text{液体})]=[\mathrm{A}(\text{気体})]$$

$$=\frac{P}{RT}$$

これより，蒸気の圧力は

$$P=K\cdot[\mathrm{A}(\text{液体})]RT$$

$$=kT$$

となり，蒸気圧は温度で決まることがわかる。

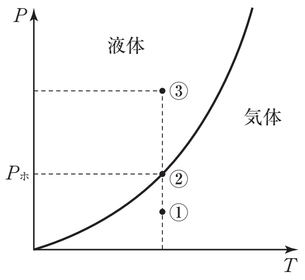
⑵　蒸気を含む気体の計算

全て気体と仮定して蒸気の圧力Pを求め，飽和蒸気圧($P_{ホ}$とする)と比較する。

① $P<P_{ホ}$のとき・・・全て気体

② $P=P_{ホ}$のとき・・・液化が始まる瞬間

③ $P>P_{ホ}$のとき・・・液体＋気体



☆状態変化が絡む問題については，状態図と蒸気圧をクリアしなくてはならないが，それ以前に，第26～28講の気体を理解しておかなくてはならない。苦手な人は第26講から復習しよう。

第31講　演習問題

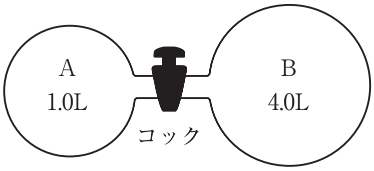
1　内容積5.0Lの容器に水0.10molを入れて密閉し，容器全体の温度を上げた。以下の問に答えよ。ただし，水の飽和蒸気圧は60℃で2.0×10^4 Pa，90℃で7.1×10^4 Pa，気体定数は8.3×10^3(Pa·L/(mol·K))とする。

(1)　60℃になったとき，容器内の圧力は何Paか。

(2)　90℃になったとき，容器内の圧力は何Paか。

2　図のように，容器A(1.0L)と容器B(4.0L)がコックで連結されている装置がある。Aに300kPaの水素，Bに200kPaの酸素を入れて27℃に保った。

コックを開いて両気体を混合し，電気火花で点火し燃焼させた。燃焼後，容器の温度を27℃に戻したとき，容器内の圧力は何kPaか。ただし，27℃における水の飽和蒸気圧は4.0kPaとする。



第31講　確認テスト

1　過酸化水素の分解によって発生した酸素を，水上置換でメスシリンダー内に捕集する。メスシリンダー内の気体の体積が27℃，1.013×10^5 Paで150 mLであるとき，酸素の物質量は何molか。最も適当な数値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，27℃における水の飽和蒸気圧は3.6×10^3 Pa，気体定数は$R = 8.3 \times 10^3$ Pa・L/(K・mol)とする。

□ mol

①　4.0×10^{-3}　　②　5.9×10^{-3}　　③　6.1×10^{-3}

④　6.3×10^{-3}　　⑤　6.7×10^{-3}　　⑥　8.3×10^{-3}

第７章　溶液

第32講　固体の溶解度

1　固体の溶解平衡

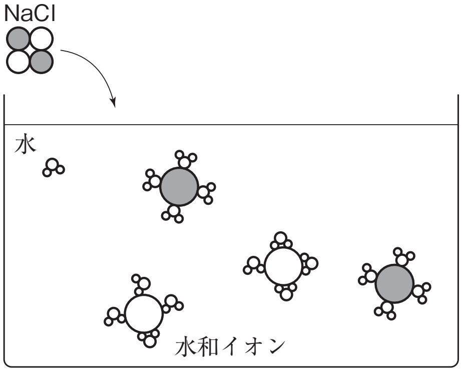
化学反応は，粒子の衝突によって始まっていく。しかし，物質の多くは固体で存在し，そのままの状態では粒子が自由に運動できないため，反応が進行しにくい。そこで，化学反応の多くは溶液でおこなっていく。物質をどんな溶媒に溶かせばいいのか，どれだけ溶けるのか，を考えていく。

(1)　溶解

溶質が溶媒に溶けて，均一な溶液になることを溶解という。

このとき，溶質は溶媒和(溶媒が水のときには水和)され安定している。

極性をもつ物質は極性溶媒によく溶け，無極性の物質は無極性溶媒によく溶ける。



⑵　固体の溶解度(易溶性物質)

(i)　表し方

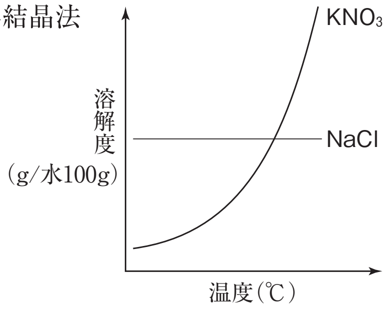
通常，水100gに溶解する限界量(g)で表す。溶解度を表す曲線を溶解度曲線という。

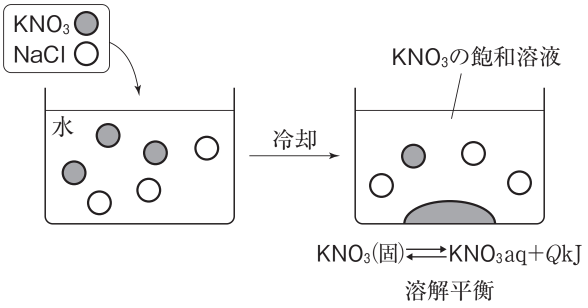
例　20℃のKNO_3の溶解度30

(ii)　計算

飽和溶液は溶質が限界量で溶解しているため，溶解度で表された溶液と同じものである。よって，飽和溶液は与えられた溶解度と，溶質・溶媒・溶液の比が同じである。

※再結晶法





第32講　演習問題

1　50℃および20℃において，水に対するKNO_3の溶解度は，それぞれ85および32である。この値を用いて次の問(a)から(c)に答えよ。

(a)　20℃においてKNO_3の飽和水溶液50g中には，何gのKNO_3が溶けているか。有効数字2桁で求めよ。

(b)　50℃におけるKNO_3の飽和水溶液100gを，20℃に冷却したときに析出するKNO_3の質量(g)として最も近いものを(1)～(5)から選び，番号で答えよ。

(1)　18　(2)　25　(3)　27　(4)　29　(5)　31

(c)　50℃におけるKNO_3の飽和水溶液100gから水20gを蒸発させたとき析出するKNO_3の質量(g)を求めよ。

2　60℃の水100gに硫酸銅(Ⅱ)$CuSO_4$［式量160］を溶かして飽和溶液とした。この溶液を20℃に冷却したとき，析出する硫酸銅(Ⅱ)五水和物$CuSO_4 \cdot 5H_2O$［式量250］は何gか。四捨五入により，小数第1位まで求めよ。

ただし，$CuSO_4$の溶解度は60℃で40.0g，20℃で20.0gとする。

第32講　確認テスト

1　硫酸銅(Ⅱ)の水に対する溶解度は，30℃で25である。30℃の10％硫酸銅(Ⅱ)水溶液100gには，硫酸銅(Ⅱ)五水和物の結晶はあと何g溶けますか。ただし，硫酸銅の式量は160，水の分子量は18とします。

解答群　1. 21　2. 23　3. 25　4. 27　5. 29

第33講　気体の溶解度

1　気体の溶解度

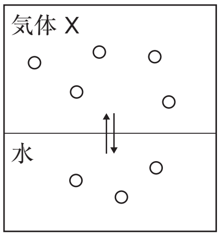
炭酸水の入ったびんの蓋をあけると，炭酸水から二酸化炭素が出ていく。また，炭酸水を常温で放置しても炭酸水から二酸化炭素が出ていく。このような現象はどうして起こるのか。気体の溶解平衡について考えていく。

(1)　気体の溶解度

(i)　温度との関係

気体の溶解度は，温度を上げると小さくなる。温度を上げると気体の熱運動が激しくなり，気体が水中から気相へ出ていくためである。

これを平衡で考えるなら，気体の溶解平衡は発熱反応であり，温度を上げると平衡が左に移動し，溶解量が減少するためである。



X(気)$\rightleftarrows$X(水)＋Q kJ

(ii)　表し方

大気圧(1.013×10^5 Pa)のもとで一定量の水に溶解する量で表す。体積で表すときには，0℃，1.013×10^5 Paに換算したもので表すのが一般的である。

(2)　ヘンリーの法則

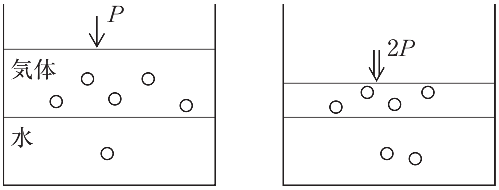
(1)の(i)で述べた，気体の溶解平衡の平衡定数を表すと

$$K=\frac{[\mathrm{X(水)}]}{[\mathrm{X(気)}]}=\frac{[\mathrm{X(水)}]}{\frac{P_X}{RT}}$$

これより，

$$[\mathrm{X(水)}]=\underbrace{\frac{K}{RT}}_{\text{定数}}\cdot P_X$$

となり，これより，気体の溶解量は圧力(混合気体の場合には分圧)に比例することがわかる。これがヘンリーの法則である。



（圧力を２倍にすると
水に溶解する気体のmolも２倍）

⑶　気体の溶解平衡の計算

⑵のヘンリーの法則で確認した通り，気体の溶解量は気体の圧力(分圧)に比例する。また，水の量が増加すれば，そのぶん気体の溶解量は増加するため，水の体積にも比例する。

気体の溶解量＝溶解度×圧力倍×水の体積倍

注：気体の溶解量を体積で問われている場合，条件をしっかり確認しなくてはならない。
　　気体の体積は温度と圧力の条件により，大きく変化するためである。

第33講　演習問題

1　0℃の水1Lに圧力1.01×10^5 Paで空気を十分通したとき，水に溶ける二酸化炭素の量は何molか。ただし，二酸化炭素は0℃，1.01×10^5 Paで水1Lに77×10^{-3} mol溶けるものとする。また，水の蒸気圧は無視できるものとし，二酸化炭素は空気中の0.03％の体積を占めているものとする。答えは有効数字2桁とせよ。

2　次の文を読み，問１～３に答えよ。

右の表は20℃と40℃における３種類の気体(アンモニア，酸素，二酸化炭素)の水への溶解度を示したものである。溶解度は水1Lに1.0×10^5 Paのもとで溶解する気体の体積(L)を0℃，1.013×10^5 Paに換算した値である。

表　気体の水への溶解度

気　体	溶解度(L)	
	M(℃)	N(℃)
A	2.3×10^{-2}	3.1×10^{-2}
B	5.3×10^{-1}	8.7×10^{-1}
C	2.0×10^2	3.2×10^2

問１　気体A～Cはアンモニア，酸素，二酸化炭素のいずれかである。分子式で示せ。また，Mは20℃と40℃のどちらか。

問２　M℃で圧力1.0×10^5 PaのAが水2Lに接している。水に溶けているAの質量は何mgか。ただし，分子量はNH_3＝17，O_2＝32，CO_2＝44とし，数値は有効数字2桁で求めよ。

問３　N℃で，1.0×10^5 Paの混合気体(A：B＝3：2，体積比)が水1Lに接している場合，水に溶けている混合気体の全質量は何gか。分子量は問２の値を用いて，有効数字2桁で求めよ。

第33講　確認テスト

1　酸素は，20℃，1.0×10^5 Paにおいて，水1Lに1.4×10^{-3} mol溶ける。20℃で2.5×10^5 Paの空気が水に接しているとき，10Lの水に溶解している酸素の体積は，0℃，1.013×10^5 Paで何Lか。最も近い値を，次の(ア)～(カ)の中から一つ選べ。ただし，空気は，窒素と酸素が体積比4：1の混合物とし，気体はすべて理想気体として扱えるものとする。

(ア)　0.14　(イ)　0.16　(ウ)　0.18　(エ)　0.20　(オ)　0.22　(カ)　0.24

第34講　希薄溶液の性質（蒸気圧降下・沸点上昇・凝固点降下）

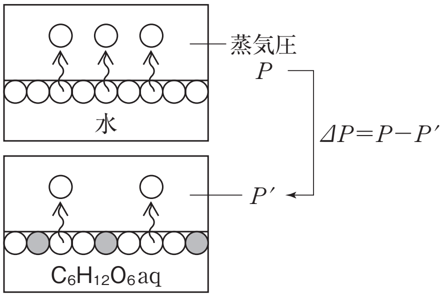
2　希薄溶液の性質

通常，溶液を捉えていくとき，溶けている溶質の粒子間にはたらく力は考えていない。それは希薄溶液であり，溶質粒子間の距離が大きいからである。よって，希薄溶液は溶質粒子の種類に関係なく，粒子数（濃度）のみに左右される性質（溶液の束一性）をもつ。そのため，問題を解くときには，電解質や二量体などに注意が必要である。

(1)　蒸気圧降下

溶媒に不揮発性の溶質を溶かして溶液にすると，溶媒のみのときに比べて蒸気圧が降下する。降下する度合い（ΔP）は濃度※に比例する。

※温度が変化すると液体の体積は変化してしまうため，濃度も変化してしまう。よって温度変化をみていくこの単元は，溶媒を質量で表記する質量モル濃度で表していく。



$$\Delta P = \underset{\text{定数}}{K} \cdot \underset{\text{質量モル濃度}}{m}$$

$$\Delta P = \underset{\text{溶媒の蒸気圧}}{P} \cdot \underset{\text{溶質のモル分率}}{x}$$

(2)　沸点上昇

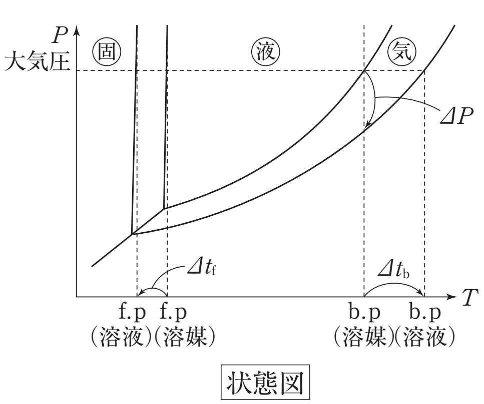
溶媒に不揮発性の溶質を溶かして溶液にすると，溶媒のみのときに比べて沸点は上昇する。上昇する度合い（Δt_b）は質量モル濃度に比例する。

$$\Delta t_b = \underset{\text{定数}}{K} \cdot \underset{\text{質量モル濃度}}{m}$$

(3)　凝固点降下

溶媒に不揮発性の溶質を溶かして溶液にすると，溶媒のみのときに比べて凝固点は降下する。降下する度合い（Δt_f）は質量モル濃度に比例する。

$$\Delta t_f = \underset{\text{定数}}{K} \cdot \underset{\text{質量モル濃度}}{m}$$



状態図

第34講　演習問題

1　沸点上昇に関する問１～問３に答えなさい。ただし，電解質は水溶液中ですべて電離するものとする。

問１　不揮発性の非電解質の希薄溶液の質量モル濃度をm[mol/kg]，沸点上昇度をΔt[K]，モル沸点上昇をK_bとすると，m，Δt，K_bの間には［A］の関係が成り立つ。(1)と(2)に答えなさい。

(1)　［A］にあてはまる式をa～eから選びなさい。

a　$\Delta t = K_b \times m$　　b　$K_b = \Delta t \times m$　　c　$m = \Delta t \times K_b$

d　$\Delta t = K_b \times m^2$　　e　$K_b = \Delta t^2 \times m$

(2)　［A］の式では，質量モル濃度[mol/kg]を用いている。モル濃度[mol/L]を用いない理由を書きなさい。

問２　水100gにグルコース$C_6H_{12}O_6$ 1.80gを溶かしたとき，大気圧下における沸点が0.0515K上昇した。(1)～(3)に答えなさい。ただし，原子量はH＝1，C＝12，N＝14，O＝16，Na＝23，S＝32とする。また，すべての操作は大気圧下で行ったものとし，大気圧は1.013×10^5Paとする。

(1)　水1000gに尿素$(NH_2)_2CO$ 3.00gを溶かすと，沸点は何K上昇するか。最も近い値をa～eから選びなさい。

a　0.0258　　b　0.0515　　c　0.103　　d　0.155　　e　0.206

(2)　水500gに硫酸ナトリウム7.10gを溶かすと，沸点は何K上昇するか。最も近い値をa～eから選びなさい。

a　0.0258　　b　0.0515　　c　0.103　　d　0.155　　e　0.206

(3)　水100gに分子量のわからない不揮発性の非電解質4.00gを溶かしたとき，沸点は0.103K上昇した。この物質の分子量はいくらか。最も近い値をa～eから選びなさい。

a　50　　b　100　　c　150　　d　200　　e　250

問３　次のa～eについて，(1)と(2)に答えなさい。

a　水　　b　0.1mol/kg塩化ナトリウム水溶液

c　0.1mol/kg塩化マグネシウム水溶液　　d　0.1mol/kg尿素水溶液

e　0.1mol/kgスクロース水溶液

(1)　同温での蒸気圧が最も大きいものをa～eから一つ選びなさい。

(2)　同圧下での沸点が最も高いものをa～eから一つ選びなさい。

第34講　確認テスト

1　次の各物質1gを水100gに溶かした4種類の溶液がある。沸点が最も高い溶液を次の(1)～(4)から選び，番号で答えよ。ただし，〔　〕内の数字は分子量または式量を表し，電解質は完全に電離しているものとする。

(1)　尿素$(NH_2)_2CO$　〔60〕

(2)　硝酸カリウムKNO_3　〔101〕

(3)　硫酸ナトリウムNa_2SO_4　〔142〕

(4)　フルクトース$C_6H_{12}O_6$　〔180〕

＜Note＞

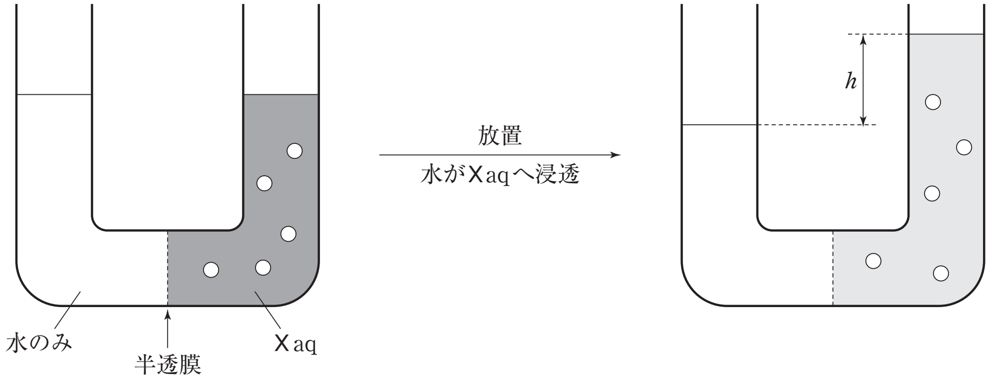
第35講　希薄溶液の性質（浸透圧）

(4)　浸透圧

図のように半透膜で仕切ったＵ字管の左右に，溶媒と溶液を同じ高さまで入れて放置すると，溶媒が溶液へ侵入する（浸透）。この浸透を阻止するためには，溶液側に圧力を加えなくてはならない。この圧力が浸透圧Πである。Πは溶液の濃度と絶対温度に比例する。

$$\Pi = \underset{\text{モル濃度}}{c} \cdot \underset{\text{気体定数}}{R} \cdot \underset{\text{絶対温度}}{T}$$

溶液側に圧力を加えず放置すると，図のように溶液側と溶媒側に液面差hが生じることになる。このとき，h分の溶液の重さによる圧力と浸透する力が釣り合ったところで，浸透が止まっている。

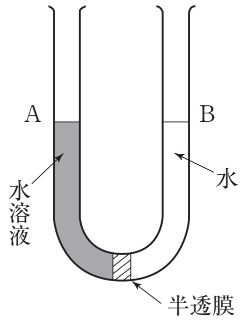


☆凝固点降下や浸透圧は分子量測定の一つであるため，この単元以外の問題でも出会うことになる。しっかり復習しておこう。

第35講　演習問題

1　図で示すように断面積1.0 cm^2 のU字管の中央部に半透膜を置き，左側にある物質(X) 0.20 gを溶かした水溶液10 mLを入れ．右側に水を同じ高さになるように入れた。27℃で一昼夜放置したところ，両液面の差が5.0 cmであった。

以上の結果から，ある物質(X)の分子量を求めよ。ただし，この物質は非電解質とする。また，気体定数 R を 8.3×10^3 L・Pa/(K・mol)，この溶液および水の密度を1.0 g/cm^3 とする。また，1 cmの水柱に相当する圧力は98 Paに等しいものとする。答は有効数字2桁とせよ。



第35講　確認テスト

1　浸透圧に関する記述として誤りを含むものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　純水とスクロース水溶液を半透膜で仕切り，液面の高さをそろえて放置すると，スクロース水溶液の体積が減少し，純水の体積が増加する。

②　浸透圧は，高分子化合物の分子量の測定に利用される。

③　グルコースの希薄水溶液の浸透圧は，モル濃度に比例する。

④　同じモル濃度のスクロースと塩化ナトリウムの希薄水溶液の浸透圧を比較すると，塩化ナトリウムの希薄水溶液の方が高い。

⑤　希薄溶液の浸透圧は，絶対温度に比例する。

＜Note＞

第８章　熱化学

第36講　熱化学（熱化学方程式・反応熱の定義・熱量計算）

1　熱化学

反応の理論のなかで，化学変化により出入りする熱について考える。この熱化学の計算をクリアするには，反応熱の定義を徹底することと，エネルギー図をかけるようになることであろう。

⑴　反応熱

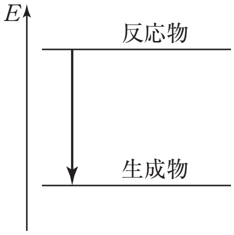
化学反応により出入りするエネルギーを反応熱といい，通常，物質1molあたりで表す。

$$1\mathrm{A} + m\mathrm{B} = n\mathrm{C} + Q\,\mathrm{kJ}$$

Aの反応熱⇒Q(kJ/mol)

(i)『〜熱』

物質1molが〜するときに**放出する**熱。吸熱のときには負の値となる。



燃焼熱　物質1molが完全燃焼するときに放出する熱

C_3H_8(気) ＋ $5O_2$(気)
　＝ $3CO_2$(気) ＋ $4H_2O$(液) ＋ 2220kJ

プロパンの燃焼熱⇒2220kJ/mol

生成熱　物質1molが構成元素の単体から生成するときに放出する熱

C(黒鉛) ＋ O_2(気) ＝ CO_2(気) ＋ 394kJ

二酸化炭素の生成熱⇒394kJ/mol

中和熱　酸と塩基が反応し，水1molが生成するときに放出する熱

HClaq ＋ NaOHaq ＝ NaClaq ＋ H_2O(液) ＋ 56kJ

中和熱⇒56kJ/mol

溶解熱　物質1molが多量の水に溶解するときに放出する熱

NaCl(固) ＋ aq ＝ Na^+aq ＋ Cl^-aq － 3.9kJ

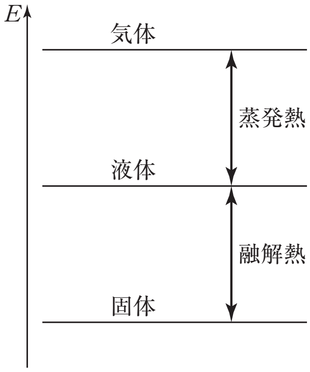
塩化ナトリウムの溶解熱⇒－3.9kJ/mol

※状態変化の熱

通常絶対値で表す。エネルギーの大小関係が

気体＞液体＞固体(右図)

であることが明確なためである。

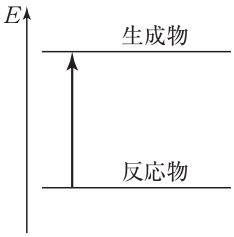


H_2O(液) ＝ H_2O(気) － 41kJ

水の蒸発熱⇒41kJ/mol

(ii) 『〜エネルギー』

物質1molが〜するために**吸収する**熱。



結合エネルギー　気体の原子間結合1molを切断するために必要なエネルギー

H_2(気) ＝ 2H(気) － 436kJ

H原子間の結合エネルギー⇒436kJ/mol

解離エネルギー　気体分子1molの原子間結合を全て切断するために必要なエネルギー

すなわち，分子内の結合エネルギーの総和に相当する。

H_2O(気) ＝ 2H(気) ＋ O(気) － 918kJ

水の解離エネルギー⇒918kJ/mol＝O−H結合エネルギー×2

イオン化エネルギー　原子1molを陽イオンに変えるために必要なエネルギー

Na(気) ＝ Na^+(気) ＋ e^- － 494kJ

ナトリウムのイオン化エネルギー⇒494kJ/mol

格子エネルギー　結晶1molを構成粒子(原子・イオン)にするために必要なエネルギー

NaCl(固) ＝ Na^+(気) ＋ Cl^-(気) － 778kJ

塩化ナトリウムの格子エネルギー⇒778kJ/mol

※**電子親和力**　原子1molを陰イオンに変化するときに**放出する**エネルギー

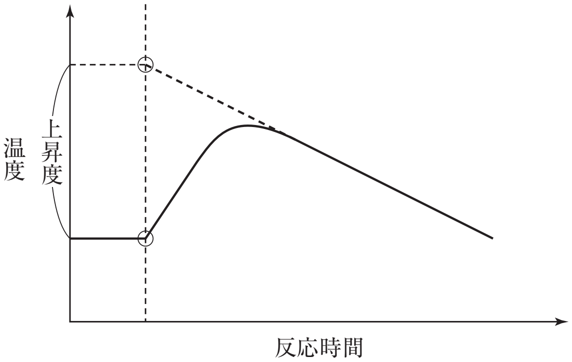
Cl(気) ＋ e^- ＝ Cl^-(気) ＋ 348kJ

塩素の電子親和力⇒348kJ/mol

⑵　**熱量計算**

熱量(kJ) ＝ 反応熱(kJ/mol) × 物質量(mol)

熱量(J) ＝ 反応熱(kJ/mol) × 物質量(mol)× 10^3
＝ 質量(g) × 比熱(J/g･℃) × 温度上昇度(℃)



第36講　演習問題

1　次の反応熱を熱化学方程式で書け。

(1)　メタノール(液) CH_3OH の生成熱　240 kJ/mol

(2)　プロパン(気) C_3H_8 の燃焼熱　2220 kJ/mol

(3)　水酸化ナトリウム NaOH(固)の溶解熱　45 kJ/mol

2　メタノール(CH_3OH)とエタノール(C_2H_5OH)の燃焼熱はそれぞれ726 kJ/mol, 1368 kJ/mol である。メタノールとエタノールの混合溶液55 gを完全燃焼させたところ1410 kJの熱が発生した。この混合溶液に含まれていたエタノールの物質量は何molか。最も近いものを，次の①～⑩のうちから一つ選べ。(原子量　H：1，C：12，O：16)

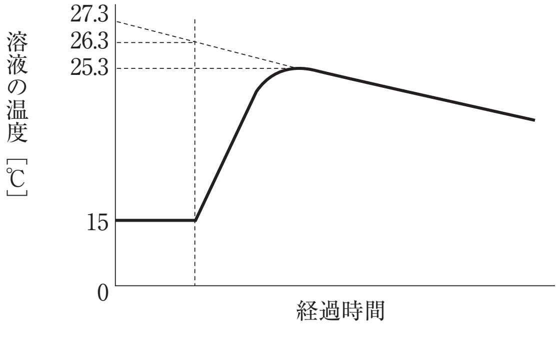
①　0.2　②　0.4　③　0.5　④　0.6　⑤　0.7

⑥　0.8　⑦　0.9　⑧　1.0　⑨　1.1　⑩　1.2

3　エタン C_2H_6 0.60 gを完全燃焼させ，発生する熱で20℃の水1.0 kgを加熱すると，水の温度は何℃になるか。最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただしエタンの燃焼熱は1561 kJ/mol，水の比熱は4.2 J/K･gとする。(原子量　H：1，C：12)

①　27.4　②　34.8　③　42.2　④　49.6　⑤　57.0

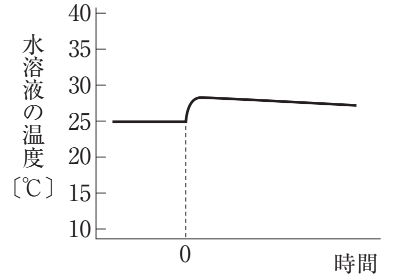
4　15℃の硫酸 H_2SO_4 4.9 gを15℃の水95.1 gで希釈したとき，液温の変化は次の図のようになった。硫酸の溶解熱は何kJ/molになるか。最も適当なものを，下の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，溶液の比熱は4.2 J/K･gとする。(原子量　H：1，O：16，S：32)



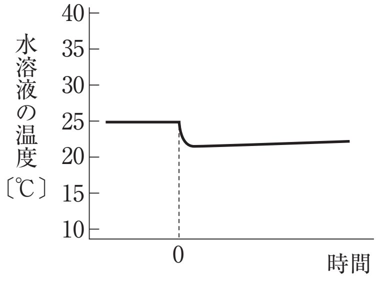
①　87　②　95　③　103　④　220　⑤　229

5　発泡ポリスチレン容器に0.50 mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液100 mLを入れ，25℃(室温)に保った。そこへ，同じ温度の0.50 mol/Lの塩酸100 mLを一度に加えてかき混ぜ続けた。混合した時刻を0として横軸に時間，縦軸に水溶液の温度をとってグラフに表した。温度の変化から中和熱を計算したところ，57 kJ/molであった。温度変化を表すグラフとして最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，この水溶液1.0 gの温度を1.0℃上げるのに必要な熱量は4.2 J，水溶液の密度は1.0 g/cm^{3}とする。(原子量　H：1，O：16，Na：23)

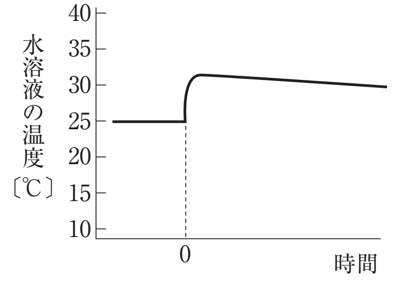
①



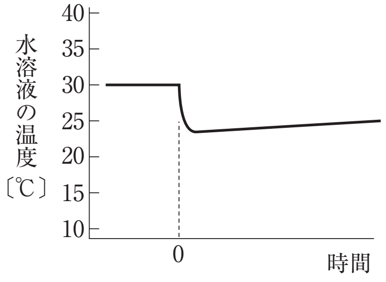
②



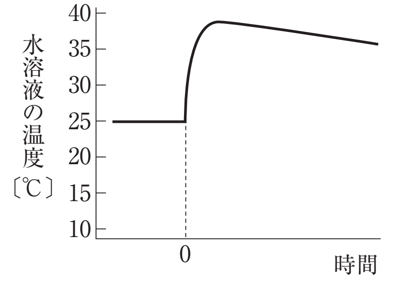
③



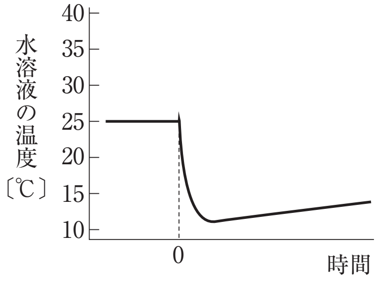
④



⑤



⑥



第36講　確認テスト

1　メタノール64gを完全燃焼させて，20℃の水1.0kgを加熱する。発生する熱量の10%が，この水の温度上昇に使われるとすると，水の温度は何度(℃)になるか。最も適当な数値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，メタノールCH_3OHの分子量は32，燃焼熱は726kJ/molであり，水1gの温度を1℃上昇させるのに必要な熱量は4.2Jであるとする。

[　　　]℃

①　24　　②　30　　③　55　　④　76　　⑤　90　　⑥　100

第37講　熱化学（反応熱計算）

1　熱化学

(3)　反応熱計算

ヘスの法則（化学反応にともない出入りする熱量の総和は，反応経路によらず一定である）を利用して，測定不可能な反応熱を計算により求めていく。

例題　二酸化炭素の生成熱394kJ/mol，水（液体）の生成熱286kJ/mol，プロパンの燃焼熱2222kJ/molであるとき，プロパンの生成熱はいくらか。　**解**：104kJ/mol

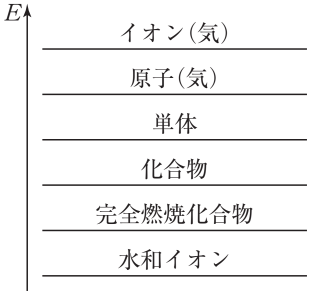
(i)　熱化学方程式から求める

(ii)　エネルギー図から求める

エネルギー図をかくときのポイント

① エネルギーレベルは暗記し，固定する。

② 仲間はずれから書く



(iii)　公式から求める

ⓐ 生成熱＋仲間はずれ　のとき

Q＝（右辺の生成熱の和）－（左辺の生成熱の和）

ⓑ 燃焼熱＋仲間はずれ　のとき

Q＝（左辺の燃焼熱の和）－（右辺の燃焼熱の和）

第37講　演習問題

1　ブドウ糖$C_6H_{12}O_6$に酵素を加えて発酵させると，エタノールC_2H_5OHを作ることができる。その熱化学方程式は次のように表される。

$C_6H_{12}O_6$(固)$=2C_2H_5OH$(液)$+2CO_2+Q$kJ

この反応の反応熱Qを，次の熱化学方程式(1)〜(3)を用いて求めると，何kJになるか。最も適当な数値を，下の①〜⑥のうちから一つ選べ。

C(黒鉛)$+O_2=CO_2+394$kJ　(1)

$2C$(黒鉛)$+3H_2+\frac{1}{2}O_2=C_2H_5OH$(液)$+277$kJ　(2)

$6C$(黒鉛)$+6H_2+3O_2=C_6H_{12}O_6$(固)$+1273$kJ　(3)

①　69　②　325　③　602　④　−69　⑤　−325　⑥　−602

2　黒鉛，水素およびプロパンC_3H_8の燃焼熱は，それぞれ394kJ/mol，286kJ/mol，2220kJ/molである。このとき，プロパンの生成熱は何kJ/molか。最も適当なものを，次の①〜⑤のうちから一つ選べ。

①　53　②　106　③　212　④　318　⑤　371

3　水素およびエチレンC_2H_4の燃焼熱はそれぞれ，286kJ/mol，1411kJ/molである。また，アセチレンC_2H_2に水素を付加してエチレンを生成する反応の反応熱は175kJ/molである。このとき，アセチレンの燃焼熱は何kJ/molか。最も適当なものを，次の①〜⑤のうちから一つ選べ。ただし，アセチレンに水素が付加する反応の熱化学方程式は次のように表すことができる。

C_2H_2(気)$+H_2$(気)$=C_2H_4$(気)$+175$kJ

①　950　②　1120　③　1300　④　1522　⑤　1872

第37講　確認テスト

1　アセチレンC_2H_2からベンゼンC_6H_6ができる次の熱化学方程式の反応熱Qは何kJか。最も適当な数値を，下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，アセチレン(気)の燃焼熱は1300kJ/mol，ベンゼン(液)の燃焼熱は3268kJ/molである。[　　]kJ

$3C_2H_2$(気)$=C_6H_6$(液)$+Q$〔kJ〕

①　−1968　　②　−668　　③　−632　　④　632　　⑤　668　　⑥　1968

＜Note＞

第９章　反応速度と平衡

第38講　反応速度

2　反応速度

反応速度に関して苦手意識を持っている人が多い。しかし，入試問題の出題パターンは完全に決まっており，その一通りをきちんと押さえておけば必ず解ける。反応速度を大きくするにはどうすればいいのか。反応速度はどのように表すことができるのか。どんな実験からそれを求めることができるのか。演習問題を利用してしっかり触れておこう。

(1)　反応経路

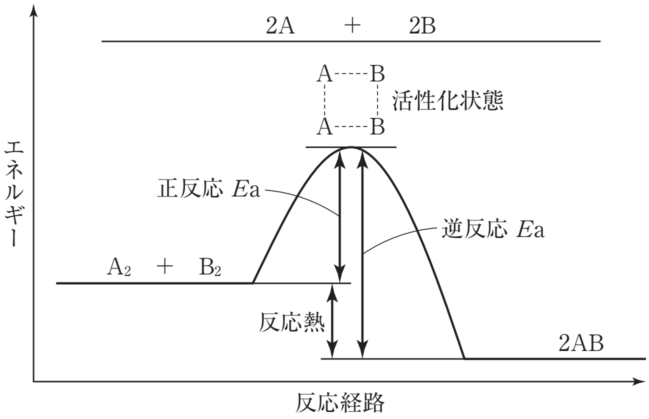
A_2　＋　B_2　⟶　2AB

①反応物A_2とB_2の衝突

②活性化状態（活性錯合体）

③生成物AB

このとき，活性化状態になるために必要なエネルギー，すなわち反応が進行するために必要なエネルギーを活性化エネルギー（Ea）という。



(2)　反応速度を支配する因子

反応速度を大きくするには…

①触媒を加える

活性化エネルギーEaが小さくなる。

正確には，小さくするものを正触媒，大きくするものを負触媒という。

②温度を上げる

反応物の運動エネルギーが大きくなるため，活性化エネルギー以上のエネルギーをもつ分子が増加する。

③反応物の濃度を大きくする

衝突回数が増加する。

濃度が大きくなれば，比例して反応速度も大きくなる。

xA　＋　yB　⟶　zCについて

$v = k[\mathrm{A}]^x[\mathrm{B}]^y$　（反応速度式）

k：速度定数（温度と活性化エネルギーで決まる）

注：x，yはかならずしも反応式の係数と一致するとはかぎらない。正確には実験から求まるものである。

⑶　反応速度式を求める実験

反応速度式を求めるには，単位時間あたりの反応物の減少量，もしくは生成物の増加量を測定していく。

その結果から

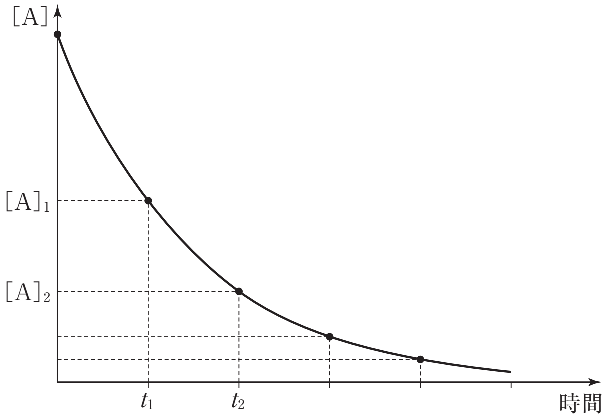
①平均の濃度

$$[\overline{\mathrm{A}}]=\frac{[\mathrm{A}]_1+[\mathrm{A}]_2}{2}$$

②平均の速度

$$\overline{v}=-\frac{[\mathrm{A}]_2-[\mathrm{A}]_1}{t_2-t_1}$$

を計算する。



⑷　一次反応の半減期

半減期とは，濃度が半分になるまでの時間である。一次反応では，この数値が一定になる。

第38講　演習問題

1　右図はA＋B ⟶ Cの反応の反応経路である。次の(1)～(5)に答えよ。

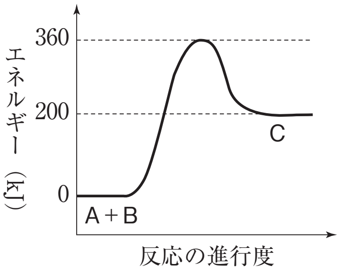
(1)　反応熱はいくらか。

(2)　活性化エネルギーはいくらか。

(3)　C ⟶ A＋Bの活性化エネルギーはいくらか。

(4)　Niを入れると，活性化エネルギーが80kJだけ低下した。Niを入れたときのC ⟶ A＋Bの活性化エネルギ－はいくらか。

(5)　C ⟶ A＋Bの反応熱はいくらか。



2　過酸化水素水(H_2O_2)に少量の酸化マンガン(Ⅳ)を加えると，次のような反応が進行する。

$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$

2.41 mol/Lの過酸化水素に酸化マンガン(Ⅳ)を加え，5分おきに過酸化水素の濃度を測定した結果が次の表である。この結果をもとに，この反応の反応速度式を求めよ。

t(分)	[H_2O_2](mol/L)
0	2.41
5	1.79
10	1.31
15	0.97

第38講　確認テスト

1　次の［ 1 ］～［ 3 ］にあてはまる最も適切なものを下の解答群から選べ。

水素，ヨウ素とヨウ化水素の間には，次の可逆反応が成り立つ。

$$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI \quad \cdots(a)$$

真空容器に水素とヨウ素を入れ，一定温度に保つと(a)式に従い反応は平衡に達する。反応開始から平衡に達するまでの正反応の反応速度 v_1 は［ 1 ］のに対し，逆反応の反応速度 v_2 は［ 2 ］。また，平衡状態における v_1 と v_2 の関係は［ 3 ］である。

［ 1 ］，［ 2 ］に対する解答群

① 反応開始直後が最も大きく，時間の経過とともに小さくなる

② 反応開始直後が最も小さく，時間の経過とともに大きくなる

③ 平衡状態に達するまで一定である

［ 3 ］に対する解答群

① $v_1 = v_2 = 0$　② $v_1 + v_2 = 0$　③ $v_1 - v_2 = 0$　④ $(v_1 + v_2)/(v_1 - v_2) = 1$

第39講　化学平衡（平衡とは・平衡定数）

3　化学平衡

(1)　平衡状態

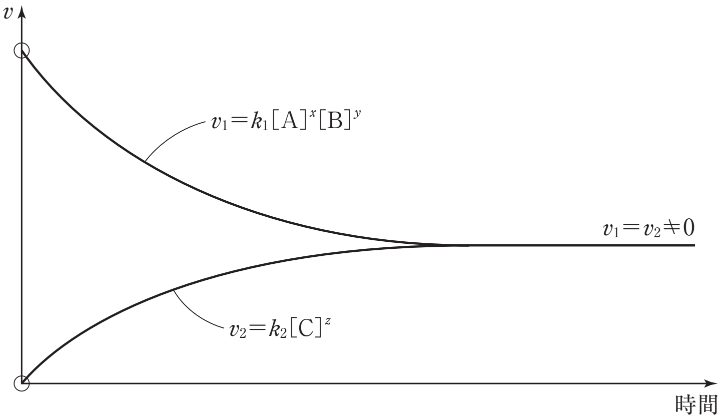
可逆反応を放置すると，正反応の速さと逆反応の速さが一致し，見かけ上反応が停止した状態になる。これを平衡状態という。

$$x\mathrm{A} + y\mathrm{B} \rightleftarrows z\mathrm{C}$$

正反応の速さ v_1

逆反応の速さ v_2

見かけの速さ $v_1 - v_2$



(2)　質量作用の法則

$x\mathrm{A} + y\mathrm{B} \rightleftarrows z\mathrm{C}$ が平衡状態にあるとき，次の式が成立する。

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[\mathrm{C}]^z}{[\mathrm{A}]^x[\mathrm{B}]^y}$$

K を平衡定数といい，温度が一定のときは常に一定値となる。

また，A，B，Cが気体のとき，

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

が成立するため，

$$K = \frac{{P_C}^z}{{P_A}^x{P_B}^y}(RT)^{x+y-z}$$

と表すことができる。

この $\dfrac{{P_C}^z}{{P_A}^x{P_B}^y}$ を圧平衡定数 K_p という。

第39講　演習問題

1　酢酸(CH_3COOH)1.0molとエタノール(C_2H_5OH)1.8molと少量の濃硫酸を混ぜ合わせ，一定温度で反応させると，平衡時，酢酸が0.20molであった。なお，このときの反応式は次のように表すことができる。

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

(1)　生成した酢酸エチル$CH_3COOC_2H_5$は何molか。

(2)　この反応の平衡定数Kはいくらか。

2　ある一定容積の容器に2.5molのH_2と2.5molのI_2を入れて一定温度に保ったところ，次式の反応が平衡に達し，H_2は0.50molになった。

$$H_2 + I_2(気) \rightleftarrows 2HI$$

(1)　この温度における平衡定数を求めよ。

(2)　最初に6.0molのH_2と6.0molのI_2を入れて同じ温度で平衡に達したとき，生成するHIは何molか。

第39講　確認テスト

1　次の［1］，［2］にあてはまる最も適切なものを下の解答群から選べ。

水素，ヨウ素とヨウ化水素の間には，次の可逆反応が成り立つ。

$$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI \quad \cdots(a)$$

真空容器に水素0.7molとヨウ素0.9molとを封入し，400℃に保ったところ，(a)式の反応が平衡状態に達し，ヨウ化水素1.2molが生成した。このとき容器に残っているヨウ素の物質量は［1］molであり，平衡定数Kは［2］と求められる。

［1］に対する解答群

①　0.1　　②　0.2　　③　0.3　　④　0.4　　⑤　0.5

［2］に対する解答群

①　22　　②　40　　③　48　　④　56　　⑤　64

＜Note＞

第40講　化学平衡(ルシャトリエの原理)

3　化学平衡

⑶　ルシャトリエの原理(平衡移動の法則)

反応が平衡状態にあるとき，平衡を支配する因子(温度・濃度・圧力)を変化させると，その影響を緩和する方向へ平衡が移動する。

例　$N_2 + 3H_2 = 2NH_3 + 92kJ$

①温度を上げる→吸熱方向へ

②圧力を上げる→mol減少方向へ

③酸を加える(NH_3を取り除く)→NH_3増加方向へ

注：固体を含む気体の平衡の場合
固体の濃度は一定であり，気体の圧力にも無関係のため，固体を少量加えても平衡は移動しない。

☆今後扱っていく単元は，すべて平衡の絡むものばかりである。平衡定数の計算はきちんとクリアしておこう。

第40講　演習問題

1　次の可逆反応が平衡状態にあるとき，①～④の条件変化をおこなった。それぞれ平衡がどちらの方向に移動するか。

$$2SO_2(気) + O_2(気) \rightleftarrows 2SO_3(気)$$

(1)　SO_3増加方向

(2)　SO_3減少方向

(3)　移動しない

のいずれか，番号で答えよ。

①　温度を一定に保ち，加圧する。

②　触媒を加える。

③　温度と体積を一定に保ち，アルゴンArを加える。

④　温度と圧力を一定に保ち，アルゴンArを加える。

2　窒素と水素を触媒存在下で高温高圧で反応させるとアンモニアが生成する。なお，アンモニア生成反応は可逆反応であり，その熱化学方程式は次の通りである。

$N_2 + 3H_2 = 2NH_3 + 92\,kJ$

問１

(1)　図1は，反応温度500，700℃において平衡に達した後のアンモニア生成率の圧力変化を模式的に示したものである。700℃における生成率を表す曲線はa，bのどちらか。

(2)　図2は，1×10^4kPa，5×10^4kPaにおいて平衡に達した後のアンモニア生成率の温度変化を模式的に示したものである。5×10^4kPaにおける生成率を表す曲線はa，bのどちらか。

図１

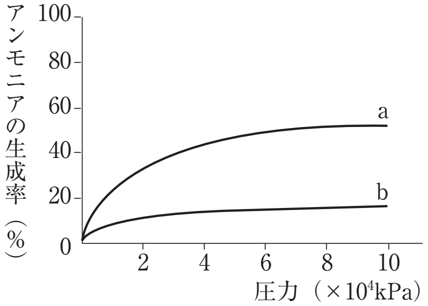
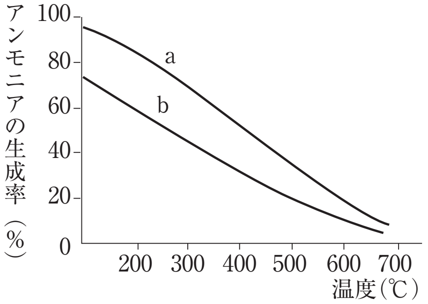
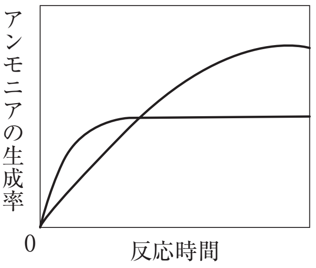


図２



問２　窒素と水素を1：3の物質量比で混合し，触媒を用いずに圧力を一定(2×10^4kPa)に保ちながら，200℃と700℃で反応させた。右図はこの場合の反応時間とアンモニアの生成率の関係を模式的に表したものである。触媒を用いずに500℃で反応させた場合を実線で，触媒を用いて500℃で反応させた場合を点線でそれぞれ右図に記入せよ。



第40講　確認テスト

1　触媒を入れた密閉容器内で次の気体反応の平衡が成立している。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

この状態から，温度一定のまま他の条件を変化させたときの平衡の移動に関する記述として誤りを含むものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，触媒の体積は無視できるものとする。

①　体積を小さくして容器内の圧力を高くすると，平衡は NH_3 が減少する方向へ移動する。

②　体積一定で，H_2 を加えると，平衡は NH_3 が増加する方向へ移動する。

③　体積一定で，NH_3 のみを除去すると，平衡は N_2 が減少する方向へ移動する。

④　体積一定で，触媒をさらに加えても，平衡は移動しない。

第41講　溶解度積

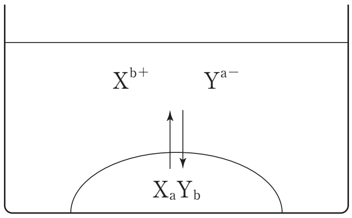
1　固体の溶解平衡

(1)　溶解度積（難溶性物質）

(i)　溶解度積

X_aY_b(固) $\rightleftarrows$ aX^{b+} ＋ bY^{a-} において

$$K=\frac{[X^{b+}]^a[Y^{a-}]^b}{[X_aY_b(\text{固})]}$$



固体の濃度は一定なので，

$$K[X_aY_b(\text{固})]=\underset{\text{溶解度積}}{\underset{\sim\sim}{K_{sp}}}=[X^{b+}]^a[Y^{a-}]^b$$

※沈殿の有無判定

溶液中のX^{b+}とY^{a-}の濃度の積を溶解度積K_{sp}と比較する。

$[X^{b+}]^a[Y^{a-}]^b$　＜　K_{sp}　……　沈殿なし

$[X^{b+}]^a[Y^{a-}]^b$　＝　K_{sp}　……　飽和溶液（沈殿が生じる瞬間）

$[X^{b+}]^a[Y^{a-}]^b$　＞　K_{sp}　……　沈殿あり（沈殿＋飽和溶液）

第41講　演習問題

1　塩化銀は水に難溶性の塩であり，飽和水溶液中では①式で示した平衡状態にある。このとき温度が一定であれば，この飽和水溶液中の銀イオンと塩化物イオンのモル濃度の積（溶解度積：K_{sp}）は一定であり，②式で表される。

$AgCl(固) \rightleftarrows Ag^+ + Cl^-$　…①　　　$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-]$　…②

(1)と(2)に答えなさい。ただし，$K_{sp} = 1.0 \times 10^{-10} (mol/L)^2$ とする。

(1)　0.10 mol/L 塩化ナトリウム水溶液 50 mL に，0.10 mol/L 硝酸銀水溶液 50 mL を加えてよく混ぜた。この溶液中の銀イオンのモル濃度(mol/L)はいくらか。最も近い値を a～f から選びなさい。

a　5.0×10^{-11}　　b　1.0×10^{-10}　　c　5.0×10^{-6}　　d　1.0×10^{-5}

e　5.0×10^{-2}　　f　1.0×10^{-1}

(2)　0.10 mol/L 塩化ナトリウム水溶液 50 mL に，0.10 mol/L 硝酸銀水溶液 25 mL を加えてよく混ぜた。この溶液中の銀イオンのモル濃度(mol/L)はいくらか。最も近い値を a～f から選びなさい。

a　1.0×10^{-10}　　b　2.0×10^{-10}　　c　3.0×10^{-10}　　d　1.0×10^{-9}

e　2.0×10^{-9}　　f　3.0×10^{-9}

2 次の文章を読み，問１～３に答えよ。ただし，$\sqrt{2}=1.4$，$\sqrt{3}=1.7$，$\sqrt{5}=2.2$とする。

硫化銅CuSや硫化亜鉛ZnSはともに水に溶けにくい塩である。これらの飽和水溶液中では，次式の電離平衡が成り立っている。

$CuS \rightleftarrows Cu^{2+} + S^{2-}$　(1)　　$ZnS \rightleftarrows Zn^{2+} + S^{2-}$　(2)

(1),(2)の溶解度積はそれぞれ$K_{sp1} = 6.5 \times 10^{-30}\,mol^2/L^2$, $K_{sp2} = 2.0 \times 10^{-18}\,mol^2/L^2$とする。これらのイオンを含む水溶液に硫化水素を通すと，硫化物が沈殿することがある。
硫化水素は水に溶解すると次のような電離平衡が成立する。

$H_2S \rightleftarrows 2H^+ + S^{2-}$　(3)

(3)の電離定数は，$K_a = 1.0 \times 10^{-22}\,mol^2/L^2$である。なお，硫化水素を十分に吹き込んだときの$H_2S$の濃度は，水素イオン濃度に無関係で常に0.10 mol/Lとし，pHを変化させたときの水溶液の体積変化はないものとする。

問１　銅イオンと亜鉛イオンをそれぞれ0.010 mol/L含む混合水溶液をpH2に保ちながら硫化水素を十分に吹き込んだ。このとき生じる沈殿物の化学式を記せ。

問２　問１において硫化水素を十分に吹き込んだ後の溶液中の銅イオンの濃度(mol/L)として，最も近い値はどれか。

1. 1.5×10^{-10}　2. 2.0×10^{-10}　3. 6.5×10^{-10}
4. 1.5×10^{-11}　5. 2.0×10^{-11}　6. 6.5×10^{-11}

問３　亜鉛イオンを0.010 mol/L含む水溶液に，硫化水素を十分に吹き込んだ。この水溶液のpHを変化させたとき，硫化亜鉛が沈殿しはじめる水素イオン濃度(mol/L)として，最も近い値はどれか。

1. 1.4×10^{-8}　2. 2.2×10^{-8}　3. 5.0×10^{-8}
4. 1.4×10^{-4}　5. 2.2×10^{-4}　6. 5.0×10^{-4}

第41講　確認テスト

1　表1に示す濃度の硝酸銀水溶液100 mLと塩化ナトリウム水溶液100 mLを混合する実験Ⅰ～Ⅲを行った。実験Ⅰ～Ⅲでの沈殿生成の有無の組合せとして最も適当なものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，塩化銀の溶解度積を，1.8×10^{-10} $(mol/L)^2$ とする。

表1

	硝酸銀水溶液の濃度〔mol/L〕	塩化ナトリウム水溶液の濃度〔mol/L〕
実験Ⅰ	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}
実験Ⅱ	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}
実験Ⅲ	2.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}

	実験Ⅰでの沈殿生成の有無	実験Ⅱでの沈殿生成の有無	実験Ⅲでの沈殿生成の有無
①	有	有	有
②	有	有	無
③	有	無	有
④	有	無	無
⑤	無	有	有
⑥	無	有	無
⑦	無	無	有
⑧	無	無	無

第42講　電離平衡・緩衝溶液・塩の加水分解平衡

1　弱酸(弱塩基)を使用する中和と平衡

弱酸(弱塩基)は電離が可逆であるため，平衡を考えていくことになる。弱酸(弱塩基)を使用する中和では，中和滴定前，中和点前，中和点の３種の平衡に注目する。それぞれの点で，どのような平衡が成立するのか，どのような公式が成立するのか，しっかりみていこう。

(1)　弱酸(弱塩基)の電離平衡

弱酸HXについて考える。

$$\mathrm{HX} + \mathrm{H_2O} \rightleftarrows \mathrm{H_3O^+} + \mathrm{X^-}$$

この可逆反応の平衡定数は

$$K = \frac{[\mathrm{H_3O^+}][\mathrm{X^-}]}{[\mathrm{HX}][\mathrm{H_2O}]}$$

となり，$[\mathrm{H_2O}]$は一定とみなせるため，

$$K[\mathrm{H_2O}] = K_a = \frac{[\mathrm{H^+}][\mathrm{X^-}]}{[\mathrm{HX}]}$$

と表すことができる。これを弱酸の電離定数という。

この弱酸の電離度をαとおくと，電離定数のK_aは，

$$K_a = \frac{[\mathrm{H^+}][\mathrm{X^-}]}{[\mathrm{HX}]} = \frac{C\alpha \cdot C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$

	HX	⇄ $\mathrm{H^+}$	＋ $\mathrm{X^-}$	(mol/L)
㊞前	C	0	0	
量	$-C\alpha$	$+C\alpha$	$+C\alpha$	
後	$C(1-\alpha)$	$C\alpha$	$C\alpha$	

となる。

αが１に比べて極めて小さいとき，$1-\alpha \fallingdotseq 1$とみなせるため，

$$K_a = C\alpha^2$$

となる。

これにより，

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} \qquad [\mathrm{H^+}] = \sqrt{CK_a}$$

が成立する。

⑵　緩衝溶液

弱酸HAに強塩基NaOHを滴下していく中和滴定で考える。

中和点前のコニカルビーカーの中は，未反応の弱酸HAと中和反応して生成した塩NaAの混合溶液である。

このような，弱酸とその塩の混合溶液または弱塩基とその塩の混合溶液は緩衝溶液とよばれる。それは，少量の酸や塩基を加えてもpHがほぼ一定に保たれる性質(緩衝作用)をもつからである。

$C_a$mol/Lの弱酸HAと$C_s$mol/Lの塩NaAの混合溶液を考える。

塩は水中で完全電離しているため，混合溶液中にはA^-イオンが多数存在しており，弱酸の電離が抑制された状態になっている。

よって$[HA] \fallingdotseq C_a$，$[A^-] \fallingdotseq C_s$の近似が成立し，
弱酸の電離定数K_aは

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \fallingdotseq \frac{[H^+]C_s}{C_a}$$

となるため，水素イオンの濃度は

$$[H^+] = K_a \cdot \frac{C_a}{C_s}$$

となる。

$$\begin{array}{cccccc} NaA & \longrightarrow & Na^+ & + & A^- \\ (C_s) & & C_s & & C_s \\ HA & \rightleftarrows & H^+ & + & A^- \\ C_a - x & & x & & x \end{array}$$

(単位：mol/L)

緩衝溶液に少量の酸や塩基を加えても，pHがほぼ一定に保たれるのは，

H^+を加えると

$$A^- + H^+ \longrightarrow HA$$

OH^-を加えると

$$HA + OH^- \longrightarrow H_2O + A^-$$

が起こり，溶液中のH^+やOH^-の濃度はほとんど変化しないためである。

(3) 塩の加水分解平衡

弱酸HAに強塩基NaOHを滴下していく中和滴定で考える。

中和点では，弱酸は全て反応して塩NaAに変化している。よって中和点ではNaA水溶液になっている。

塩で学んだように(→第16講[2](3))弱酸由来の塩は加水分解を起こしている。

$$A^- + H_2O \rightleftarrows HA + OH^-$$

このとき，平衡定数Kは

$$K=\frac{[HA][OH^-]}{[A^-][H_2O]}$$

となる。水の濃度は一定とみなすことができるため，

$$K[H_2O] = \underset{\text{加水分解定数}}{K_h} = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$$

加水分解度をhとおくと

	A^-	$+ H_2O$	$\rightleftarrows HA$	$+ OH^-$ (mol/L)
前	C	—	0	0
量	$-Ch$		$+Ch$	$+Ch$
後	$C(1-h)$		Ch	Ch

$$K_h=\frac{Ch\cdot Ch}{C(1-h)}$$

$$=\frac{Ch^2}{1-h}$$

$$\fallingdotseq Ch^2$$

となる。(通常hは1に比べて極めて小さいため，近似してよい)

また，

$$K_h=\frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}\times\frac{[H^+]}{[H^+]}$$

$$=\frac{K_w}{K_a}$$

となるため，

$$[OH^-]=\sqrt{\frac{CK_w}{K_a}}$$

となる。

☆酸や塩基の平衡は入試で大きな差になる一つである。公式をすらすら使えるように練習しておこう。

第42講　演習問題

1　酢酸の電離定数 K_a を 2.0×10^{-5} mol/L とする。1.0×10^{-1} mol/L の酢酸水溶液の水素イオンのモル濃度 $[H^+]$ を求めよ。ただし，$\sqrt{2}=1.4$，$\sqrt{3}=1.7$，$\sqrt{5}=2.2$ とする。

2　0.10 mol/L の酢酸水溶液 100 mL に，0.20 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液 100 mL を混合した水溶液の水素イオンのモル濃度 $[H^+]$ を求めよ。ただし，酢酸の電離定数 $K_a=2.0 \times 10^{-5}$ mol/L, $\log 2=0.30$, $\log 3=0.48$ とする。

3　0.20 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液の水酸化物イオンのモル濃度 $[OH^-]$ を求めよ。
　ただし，酢酸の電離定数 $K_a=2.0 \times 10^{-5}$ mol，水のイオン積 $K_w=1.0 \times 10^{-14}$ $(\text{mol/L})^2$ とする。

第42講　確認テスト

1　次の問いに答えなさい。ただし，原子量はH＝1.0，O＝16，Na＝23，S＝32とし，酢酸の電離定数K_a＝2.0×10^{-5}mol/Lとする。

(1)　2.0×10^{-1}mol/Lの酢酸水溶液の電離度はいくらか。最も近い値をa～fから選びなさい。

a　1.0×10^{-4}　b　2.0×10^{-4}　c　1.0×10^{-3}
d　2.0×10^{-3}　e　1.0×10^{-2}　f　2.0×10^{-2}

(2)　1.0×10^{-2}mol/Lの酢酸ナトリウム水溶液400mLと2.0×10^{-1}mol/Lの酢酸水溶液80mLをよく混ぜた。この水溶液のpHはいくらか。最も近い値をa～fから選びなさい。ただし，$\log_{10}2.0$＝0.30とする。

a　4.1　b　4.4　c　4.7　d　5.0　e　5.3　f　5.6

演習問題解答

第26講　演習問題

1　(1)　5.0×10^4 Pa　　(2)　1140mmHg

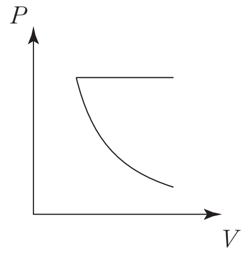
2　(1)　25L　　(2)　0.13 mol　　(3)　45　　(4)　2.0×10^2 g/mol

第27講　演習問題

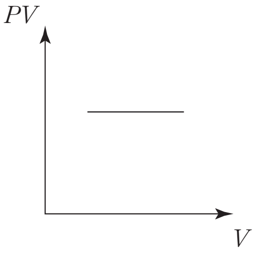
1　(1)　2.0×10^2 mL　　(2)　2.0×10^5 Pa

2　③

3　(1)



(2)



第28講　演習問題

1　28.8

2　65%

3　O_2　200mL　　CO_2　100mL

4　酸素の分圧　1.0×10^5 Pa　　全圧　1.8×10^5 Pa

第29講　演習問題

1　問１　a　　問２　(1)　(ロ)　　(2)　(ハ)

第30講　演習問題

1　融点　低くなる　　沸点　高くなる

2　(1)　400hPa　　(2)　問1　28L　　問2　30℃　　問3　6200hPa

第31講　演習問題

1　(1)　2.0×10^4Pa　　(2)　6.0×10^4Pa

2　134kPa

第32講　演習問題

1　(a)　12g　　(b)　(4)　　(c)　17g

2　35.2g

第33講　演習問題

1　2.3×10^{-5} mol

2　問１　A：O_2　B：CO_2　C：NH_3　M：40℃

問２　66 mg

問３　0.71 g

第34講　演習問題

1　問１　⑴　a　⑵　体積は温度変化に伴い増減するため。

問２　⑴　a　⑵　d　⑶　d

問３　⑴　a　⑵　c

第35講　演習問題

1　8.1×10^4

第36講　演習問題

1 (1) C(固) ＋ $2H_2$(気) ＋ $\frac{1}{2}O_2$(気) ＝ CH_3OH(液) ＋ 240kJ

(2) C_3H_8(気) ＋ $5O_2$(気) ＝ $3CO_2$(気) ＋ $4H_2O$(液) ＋ 2220kJ

(3) $NaOH$(固) ＋ aq ＝ NaOHaq ＋ 45kJ

または　$NaOH$(固) ＋ aq ＝ Na^+aq ＋ OH^-aq ＋ 45kJ

2 ③

3 ①

4 ②

5 ①

第37講　演習問題

1　①

2　②

3　③

第38講　演習問題

1　(1)　−200 kJ/mol　(2)　360 kJ/mol　(3)　160 kJ/mol　(4)　80 kJ/mol
(5)　200kJ/mol

2　$v = 0.060[H_2O_2]$

第39講　演習問題

1　(1)　0.80 mol　　(2)　3.2

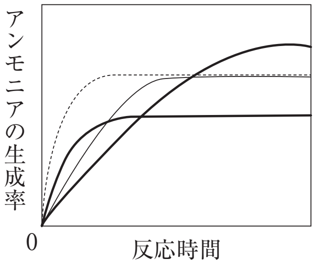
2　(1)　64　　(2)　9.6 mol

第40講　演習問題

1　①　(1)　②　(3)　③　(3)　④　(2)

2　問１　(1)　b　(2)　a

問２



第41講　演習問題

1 (1) d　(2) f

2 問１　CuS

問２　6

問３　5

第42講　演習問題

1　1.4×10^{-3} mol/L

2　1.0×10^{-5} mol/L

3　1.0×10^{-5} mol/L

確認テスト解答

第26講　確認テスト

1　(カ)

【解説】

気体の分子量をM，質量をwとすると，気体の状態方程式より，

$$PV=\frac{w}{M}RT$$

$$M=\frac{wRT}{PV}=\frac{16\times8.3\times10^3\times300}{1.5\times10^5\times8.3}=32$$　<u>32</u>

第27講　確認テスト

1　問１　(d)　問２　(d)　問３　(d)

【解説】

問１　状態方程式$PV = nRT$において，Tが一定であることから，

$$PV = \textcircled{n}\textcircled{R}\textcircled{T}$$

であるため，PとVは反比例の関係であり，Tが大きいほど定数nRTが大きくなる。
グラフが一番上にあるほど定数が大きいため，$\underline{T_3 > T_2 > T_1}$である。

問２　状態方程式$PV = nRT$において，Tが一定であることから，

$$P = \textcircled{n}\textcircled{R}\textcircled{T}\,\frac{1}{V}$$

であるため，Pと$\frac{1}{V}$は比例の関係であり，Tが大きいほど定数nRTが大きくなる。

グラフが一番上にあるほど定数が大きいため，$\underline{T_3 > T_2 > T_1}$である。

問３　状態方程式$PV = nRT$において，Pが一定であることから，

$$\textcircled{P}V = \textcircled{n}\textcircled{R}T \quad \Rightarrow \quad V = \frac{\textcircled{n}\textcircled{R}}{\textcircled{P}}T$$

であるため，VとTは比例の関係であり，Vが大きいほど定数$\frac{nR}{P}$が大きくなる。

グラフが一番上にあるほど定数が大きいため，Pが分母であることに注意して，
$\underline{P_3 > P_2 > P_1}$である。

第28講　確認テスト

1　③

【解説】

温度を一定に保って実験しているため，$PV=\textcircled{n}\textcircled{R}\textcircled{T}$となる。

また，コックを開いた後の容器の体積は

$4.0+1.0=5.0$（L）

である。

ヘリウムHeに関して，コックを開いた後の分圧をP_{He}とすると，

$1.0\times10^5\times4.0=P_{He}\times5.0$　　$\underline{P_{He}=0.8\times10^5\ \text{Pa}}$

アルゴンArに関して，コックを開いた後の分圧をP_{Ar}とすると，

$5.0\times10^5\times1.0=P_{Ar}\times5.0$　　$\underline{P_{Ar}=1.0\times10^5\ \text{Pa}}$

以上より，全圧は

$0.8\times10^5+1.0\times10^5=\underline{1.8\times10^5\ (\text{Pa})}$

第29講　確認テスト

1　(1)　a　(2)　c　(3)　(i)　a　(ii)　b

【解説】

(1)　略

(2)　圧力4.0×10^6 PaのZが最小値になっているのはcである。

(3)　(i)　H_2は分子間力がほとんどないため，グラフが下にズレることがなく，理想気体に近い。

(ii)　CH_4は3つの気体の中で，2番目に分子量が大きい。

第30講　確認テスト

1　(1)　A　融点　B　沸点　(2)　③　(3)　②・⑤

【解説】

(1)　略

(2)　0℃に保って1.0×10^5Paから圧力を下げると，昇華圧曲線と接触する。

(3)　1.0×10^5Paのもとでは，昇華圧曲線と交わることはない。

第31講　確認テスト

1　②

【解説】

酸素の分圧は

$1.013\times10^5-3.6\times10^3=\underline{0.977\times10^5\ (\mathrm{Pa})}$

酸素に関して気体の状態方程式より，

$$n=\frac{PV}{RT}=\frac{0.977\times10^5\times\frac{150}{1000}}{8.3\times10^3\times300}=\underline{5.88\times10^{-3}\ (\mathrm{mol})}$$

第32講　確認テスト

1　2

【解説】

30℃の10％硫酸銅(Ⅱ) $CuSO_4$水溶液100gには，$CuSO_4$が10g溶解している。

この溶液に，硫酸銅(Ⅱ)五水和物$CuSO_4$・$5H_2O$[式量250]をxg溶かすと飽和に達すると考える。

生じる飽和溶液は$(100+x)$g，含まれる$CuSO_4$は$\left(10+\dfrac{160}{250}x\right)$gであるため，

$$(100+x):\left(10+\frac{160}{250}x\right)=125:25=5:1 \qquad x=\underline{22.7\text{g}}$$

第33講　確認テスト

1　(イ)

【解説】

空気中の酸素の分圧は

$$2.5\times10^5\times\frac{1}{5}=\underline{0.5\times10^5\ (\mathrm{Pa})}$$

10Lの水に溶けている酸素の物質量は

$$1.4\times10^{-3}\times0.5\times10=\underline{7.0\times10^{-3}\,(\mathrm{mol})}$$

よって，0℃，1.013×10^5Paにおける体積は

$$7.0\times10^{-3}\times22.4=\underline{0.1568\,(\mathrm{L})}$$

第34講　確認テスト

1　(3)

【解説】

沸点上昇度は質量モル濃度に比例する。

今回，すべての溶液の溶媒(水)の量が100gで同じであるため，

物質量molが大きい➡　質量モル濃度が大きい➡　沸点上昇度が大きい➡　沸点が高いと判断できる。

それぞれの物質量を，電解質に気をつけて考えよう。

(1)　$(NH_2)_2CO$は電解質ではないため，$\frac{1}{60}$ mol

(2)　KNO_3は電離して2粒(K^+・NO_3^-)になる。

$$\frac{1}{101}\times 2=\frac{1}{50.5}\text{ mol}$$

(3)　Na_2SO_4は電離して3粒($Na^+\times 2$・SO_4^{2-})になる。

$$\frac{1}{142}\times 3=\frac{1}{47.3}\text{ mol}$$

(4)　$C_6H_{12}O_6$は電解質ではないため，$\frac{1}{180}$ mol

分母が小さいものが解答である。

第35講　確認テスト

1　①

【解説】

①　純水が水溶液に浸透していくため，純水の体積が減少する。

②　$\mathit{\Pi} V=\dfrac{w}{M}RT$ より分子量Mを導くことができる。

③　モル濃度をC mol/L とすると，$\mathit{\Pi}=CRT$ と表すことができる。

④　塩化ナトリウムは電解質なので，粒子のモル濃度は大きくなる。

⑤　$\mathit{\Pi}=CRT$ より$\mathit{\Pi}$ とTは比例関係である。

第36講　確認テスト

1　③

【解説】

発生する熱量の10％のみが使われることに気をつけて立式する。温度上昇度をt℃とすると，

$$726\times\frac{64}{32}\times1000\times\frac{10}{100}=1000\times4.2\times t \qquad \underline{t=34.5\ ℃}$$

よって，水の温度は

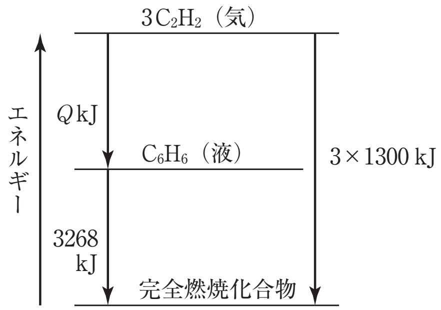
$$20+34.5=\underline{54.5\,(℃)}$$

第37講　確認テスト

1　④

【解説】

エネルギー図は次のようになる。



第38講　確認テスト

1　1　①　2　②　3　③

【解説】　略

第39講　確認テスト

1　1　③　　2　③

【解説】

	H_2	＋	I_2	⇄	$2HI$	(mol)
反応前	0.7		0.9		0	
変化量	−0.6		−0.6		＋1.2	
平衡後	0.1		0.3		1.2	

上図より，平衡定数Kは容器の容積をVとして，

$$K=\frac{\left(\frac{1.2}{V}\right)^2}{\left(\frac{0.1}{V}\right)\left(\frac{0.3}{V}\right)}=\underline{48}$$

第40講　確認テスト

1　①

【解説】

①　圧力を高くすると物質量が小さくなる方向(右)に移動する。すなわちNH_3は増加。

②　H_2を加えるとH_2が減少する方向(右)に移動。すなわちNH_3は増加。

③　NH_3を除去するとNH_3が増加する方向(右)に移動。すなわちN_2は減少。

④　触媒を加えると反応速度が大きくなるが，平衡は移動しない。

第41講　確認テスト

1　④

【解説】

硝酸銀水溶液100mLと塩化ナトリウム水溶液100mLを混合すると，全体の体積が200mLになる（2倍に希釈される）ため，それぞれの溶液の濃度は半分になることに気をつけよう。

それぞれの混合溶液の銀イオンと塩化物イオンの濃度の積は次のようになる。

実験Ⅰ　$(1.0\times10^{-3})(1.0\times10^{-3}) = 1.0\times10^{-6}$　$(\mathrm{mol/L})^2$

実験Ⅱ　$(1.0\times10^{-5})(1.0\times10^{-5}) = 1.0\times10^{-10}$　$(\mathrm{mol/L})^2$

実験Ⅲ　$(1.0\times10^{-5})(0.5\times10^{-5}) = 5.0\times10^{-11}$　$(\mathrm{mol/L})^2$

これらの中で塩化銀の溶解度積$1.8\times10^{-10}(\mathrm{mol/L})^2$を超えているのは実験Ⅰのみである。

第42講　確認テスト

1　(1)　e　　(2)　a

【解説】

(1)　$\alpha=\sqrt{\dfrac{K_a}{C}}=\sqrt{\dfrac{2.0\times10^{-5}}{2.0\times10^{-1}}}=\underline{1.0\times10^{-2}}$（＜0.05）

(2)　$[H^+]=K_a\times\dfrac{C_a}{C_s}=2.0\times10^{-5}\times\dfrac{2.0\times10^{-1}\times\dfrac{80}{480}}{1.0\times10^{-2}\times\dfrac{400}{480}}=2^3\times10^{-5}$ (mol/L)

よってpHは

$pH=-\log(2^3\times10^{-5})=5-3\log2=\underline{4.1}$

Ⓒ RECRUIT
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。